ANDERS ERIKSSON

Kraftfull kunskap om fotosyntes transformerad till undervisningsinnehåll via ett ramverk för fotosynteslitteracitet

Transforming Powerful Knowledge of Photosynthesis into Pedagogical Content through a Photosynthesis Literacy Framework

Kraftfull kunskap om fotosyntes transformerad till undervisningsinnehåll via ett ramverk för fotosynteslitteracitet

Anders Eriksson

Fakulteten för hälsa, natur- och teknikvetenskap

Biologi

DOKTORSAVHANDLING | Karlstad University Studies | 2025:47

Kraftfull kunskap om fotosyntes transformerad till undervisningsinnehåll via ett ramverk för fotosynteslitteracitet

Anders Eriksson

DOKTORSAVHANDLING | Karlstad University Studies | 2025:47

Kraftfull kunskap om fotosyntes transformerad till undervisningsinnehåll via ett ramverk för fotosynteslitteracitet

Anders Eriksson

DOKTORSAVHANDLING

Karlstad University Studies | 2025:47

urn:nbn:se:kau:diva-107533

ISSN 1403-8099

ISBN 978-91-7867-637-8 (tryck)

ISBN 978-91-7867-638-5 (pdf)

https://doi.org/10.59217/bmif1901

© Författaren

Distribution:
Karlstads universitet
Fakulteten för hälsa, natur- och teknikvetenskap
Institutionen för miljö- och livsvetenskaper
SE-651 88 Karlstad, Sweden

Tryck: Universitetstryckeriet, Karlstad 2025

WWW.KAU.SE

Till Sigrid

Sammanfattning

Fotosyntesen är den grundläggande biokemiska process som möjliggör förekomst av högre liv genom att omvandla ljusenergi till kemisk energi i kolhydrater. Trots dess centrala betydelse upplevs fotosyntesundervisningen ofta som abstrakt och komplex, vilket kan minska elevers motivation och bidra till att missuppfattningar etableras. Även lärare beskriver området som svårt att undervisa om. Avhandlingen utgår från att undervisningen om fotosyntes bör kopplas till hållbarhets- och samhällsfrågor för att öka relevansen och angripa vanliga missuppfattningar. Syftet är att utveckla en undervisning som stärker elevers fotosynteslitteracitet i en form av naturvetenskaplig allmänbildning som ger eleverna *kraftfull kunskap* för välinformerat medborgarskap genom att använda ämnesspecifik biologisk kunskap i sin vardag.

Genom fyra delstudier undersöktes hur en sådan undervisning kan transformera disciplinär vetenskaplig kunskap till relevant fotosynteskunskap för högstadieelever. Den första delstudien utvecklade en teoretisk modell för fotosynteslitteracitet, baserad på tre visioner av naturvetenskaplig litteracitet, där alla tre anses nödvändiga för att främja kraftfull kunskap. I den andra delstudien omvandlades modellen till ett ramverk med 25 ämnesområden med tillhörande lärandemål genom en Delphistudie. Ramverkets innehåll kan åtgärda vanliga missuppfattningar och öka relevansen genom koppling till hållbarhets- och samhällsfrågor. Den tredje delstudien omsatte ramverkets mål till en undervisningsdesign med tio lektioner, utvecklad i samarbete med två biologilärare. I den fjärde delstudien utvärderades designen genom ett kvasiexperiment där elever som deltagit i undervisningen uppnådde signifikant bättre resultat än kontrollgruppen. Fyra framgångsfaktorer i undervisningsdesignen identifierades som möjliga förklaringar till de positiva resultaten: *autentiska upplevelser, fascination och förundran, elevaktivt arbetssätt* samt *kollaborativt lärande*.

Avhandlingen visar att en systematisk transformation av ett ämnesinnehåll från en ämnesdisciplin till ett elevnära undervisningsinnehåll kan förbättra lärandet och göra kraftfull kunskap, som i detta fall fotosyntes, mera tillgängligt för elevers lärande.

Abstract

Photosynthesis is a fundamental biochemical process that converts light into chemical energy stored in carbohydrates, forming the basis of all complex life. Despite its importance, traditional teaching methods often present photosynthesis as a context-free biochemical mechanism, which many students find too abstract to be engaging. This perception can reduce motivation and increase the risk of misconceptions. Teachers also report difficulties in teaching the topic. This thesis proposes that linking photosynthesis instruction to societal and sustainability contexts can make learning more meaningful and address common misunderstandings. The goal is to develop a scientifically grounded teaching design that fosters photosynthesis literacy: a form of scientific literacy that equips students with powerful photosynthesis knowledge for a well informed citizenship.

The thesis comprises four sub-studies. The first develops a theoretical model for photosynthesis literacy, drawing on three conceptualisations of scientific literacy. It argues that integrating elements from all three is essential for cultivating students' deep understanding. The second sub-study, a Delphi study, translates this model into a framework of 25 content areas with corresponding learning objectives. This framework incorporates both conceptual clarity and contextual relevance. In the third sub-study, a design study conducted with two biology teachers transforms the framework into a ten-lesson teaching design. The fourth sub-study evaluates the impact of this design through a quasi-experiment using a custom questionnaire aligned with the framework's objectives. Students who participated in the new teaching design performed significantly better than those in the control group. Qualitative data from interviews and classroom observations identified four potential success factors of the teaching design explaining the positive results: *authentic experiences, fascination and wonder, student-centred learning*, and *collaborative engagement*.

The thesis demonstrates that a systematic transformation of an academic discipline content into student-adapted pedagogy can enhance learning outcomes and shape powerful knowledge, in this case about photosynthesis.

Tack!

Först och främst vill jag uttrycka min djupa tacksamhet till mina handledare, professor Niklas Gericke och docent Daniel Olsson, för er professionella vägledning och ert orubbliga stöd under dessa fem år. Er expertis och engagemang har varit ovärderliga för min utveckling som forskare. Jag vill också tacka Nina Christenson, Bodil Sundberg och Claes Malmberg för värdefull återkoppling vid 10, 60 respektive 90% seminarierna.

Jag vill också rikta ett varmt tack till hela ledningsgruppen inom KÄKK för er föredömliga organisering. Jag vill även tacka alla mina kollegor vid Karlstads universitet för er kollegialitet och ert stöd samt mina doktorandkollegor inom KÄKK och "Lilla SMEER" för er vänskap, uppmuntran och den gemenskap vi delat under denna resa. Ett särskilt tack till biologididaktikdoktorandkollegorna Anna-Clara och Annika för eran support, och till Kate för hjälp med engelskan. Stort tack till Johan Nordling för din hjälp med utvecklandet av frågetestet. Hjärtligt tack också till min tåliga livspartner Anette som fått stå ut med en tidvis mentalt frånvarande och över låg datorhandhavande förmåga frustrerad sambo.

Slutligen vill jag poängtera att jag också är ytterst tacksam till alla deltagare i mina studier. Speciellt tack till lärarna Åsa, Linnea, Sara, Annika, Ingela och Torbjörn. Utan frivilliga respondenter i form av forskare och hjälpsamma biologilärare med sina härliga elever hade denna avhandling inte varit möjlig att genomföra. Hjärtligt tack till Er alla!

Min forskarskola

Denna avhandling är en del av forskarskolan KÄKK (Kunskap, ämnen och kvalitet i lärarutbildning och klassrum), ett samarbetsinitiativ mellan Karlstads universitet, Högskolan i Halmstad och Högskolan Väst. Programmet syftar till att stärka de vetenskapliga grunderna för undervisning och lärarutbildning genom att fokusera på transformationen av kraftfull kunskap till praktik i klassrummet. Denna transformation sker inom olika skolämnen och formas både av ämnestraditioner och de sociala kontexterna i grundskola och gymnasieskola.

KÄKK bidrar till utvecklingen av ämnesdidaktisk teori ur ett skolnära forskningsperspektiv.

Forskarutbildningen har finansierats av Vetenskapsrådet (diarienummer 2019–04419).

Lista över ingående forskningsartiklar

Avhandlingen är baserad på följande fyra forskningsartiklar som vidare i texten kommer kallas delstudier.

Delstudie 1
Eriksson, A., Gericke, N., & Olsson, D. (2023). Fotosyntesundervisning 2.0: Kraftfull kunskap och en vidgad syn på fotosyntesundervisning. *Utbildning & Lärande*, *17*(2), 79-97.
https://doi.org/10.58714/ul.v17i2.15856

Delstudie 2
Eriksson, A., Gericke, N., & Olsson, D. (2025). The Photosynthesis Literacy Framework: Updating educational perspectives on photosynthesis education. Accepterad för publicering i *Research in Science Education.*

Delstudie 3
Eriksson, A., Olsson, D., & Gericke, N. (2025). Teaching for photosynthesis literacy: an education design research study. *Journal of Biological Education*, 1-18.
https://doi.org/10.1080/00219266.2025.2467764

Delstudie 4
Eriksson, A., Olsson, D., & Gericke, N. (2025). How Can Students Learn Photosynthesis Literacy? An Effect study of Education Design Research Interventions. Accepterad för publicering i *Journal of Biological Education.*

Artikelförfattarnas bidrag

Artikelförfattarnas bidrag till delstudie 1

Anders Eriksson, Niklas Gericke och Daniel Olsson utvecklade de idéer som ligger till grund för skrivande av en positioneringsartikel som tar upp behovet av en ny mera kontextuellt breddad undervisning om fotosyntes med samhällsanpassning som svarar upp mot vår tids hållbarhetsfrågor. Anders Eriksson skrev första utkast till artikeln som sedan utvecklades och förbättrades via kommentarer från Niklas Gericke och Daniel Olsson. Niklas Gericke och Daniel Olsson gav också råd om skrivande och innehåll.

Artikelförfattarnas bidrag till delstudie 2

Niklas Gericke gav ursprungsidén till artikeln. Anders Eriksson kontaktade och rekryterade lämpliga deltagare till Delphi-panelen och utvecklade samt inhämtade svar på öppna frågor om adekvat innehåll och lärandemål gällande fotosyntesen och dess betydelse i bred mening. Anders Eriksson analyserade svaren via tematisk analys. Niklas Gericke och Daniel Olsson gav respons på tematiska analysen och de formuleringar kring de fyra temana med innehåll och lärandemål som analysen resulterade i. Anders Eriksson utvecklade slutna enkätfrågor utifrån den tematiska analysen och administrerade den fortsatta datainsamlingen. Svaren från Delphi-panelens deltagare diskuterades tillsammans av de tre författarna. Anders Eriksson genomförde de statistiska analyserna med hjälp av Daniel Olsson. Anders Eriksson skrev första utkast till artikel som sedan kommenterades och reviderades utifrån förslag från Niklas Gericke och Daniel Olsson.

Artikelförfattarnas bidrag till delstudie 3

Anders Eriksson, Niklas Gericke och Daniel Olsson utvecklade forskningsdesignen gemensamt. Anders Eriksson utvecklade och genomförde designstudien självständigt efter samråd med Niklas Gericke och Daniel Olsson. Data samlades in och analyserades av Anders Eriksson. Ett första utkast till artikel skrevs av Anders Eriksson. Utkastet granskades och kommenterades av Niklas Gericke och Daniel Olsson varefter det utvecklades gemensamt.

Artikelförfattarnas bidrag till delstudie 4

Anders Eriksson, Niklas Gericke och Daniel Olsson utvecklade forskningsdesignen gemensamt. Ett enkätinstrument utvecklades i studien gemensamt av Anders Eriksson, Johan Nordling, Niklas Gericke och Daniel Olsson. Anders Eriksson genomförde datainsamling av kvantitativa och kvalitativa data. Anders Eriksson genomförde dataanalyser med hjälp av Daniel Olsson och resultaten bearbetades och tolkades sedan gemensamt av de tre författarna. Anders Eriksson skrev första utkast till artikel som sedan kommenterades och reviderades utifrån förslag från Niklas Gericke och Daniel Olsson.

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING .... **III**
ABSTRACT .... **IV**
LISTA ÖVER INGÅENDE FORSKNINGSARTIKLAR .... **VII**
ARTIKELFÖRFATTARNAS BIDRAG .... **VIII**
FÖRORD AV FÖRFATTAREN **1**
INLEDNING **3**
SVÅRIGHETER I FOTOSYNTESUNDERVISNING 3
AVHANDLINGENS DISPOSITION 4
BAKGRUND **6**
BRISTANDE RELEVANS I FOTOSYNTESUNDERVISNINGEN 6
Fotosyntesens betydelse för hållbarhetsfrågor *8*
Fotosyntesens övriga samhällsbetydelser *9*
KOMPLEXT INNEHÅLL I FOTOSYNTESUNDERVISNINGEN 11
Fotosyntesen förklaras på olika biologiska organisationsnivåer *13*
Missuppfattningar om fotosyntesrelaterade företeelser *13*
Upplevda brister i fotosyntesundervisningen *15*
BEHOVET AV EN UPPDATERAD FOTOSYNTESUNDERVISNING 16
TEORETISK BAKGRUND **17**
NATURVETENSKAPLIG LITTERACITET ENLIGT VISION I 18
NATURVETENSKAPLIG LITTERACITET ENLIGT VISION II 19
NATURVETENSKAPLIG LITTERACITET ENLIGT VISION III 20
TRANSFORMATION AV ÄMNESKUNSKAP 21
KRAFTFULL KUNSKAP 23
Kunskapsstrukturer i kraftfull kunskap *23*
Kraftfull kunskap inom ämnesdidaktik *24*
SYFTE OCH FORSKNINGSFRÅGOR **26**
METOD **27**
FRAMTAGANDE AV ÄMNESOMRÅDEN OCH LÄRANDEMÅL VIA DELPHI-PANEL – DELSTUDIE 2 28
Deltagarna i Delphi-panelen *29*
Delphistudiens genomförande och analys *29*
Validitet och tillförlitlighet i delstudie 2 .... *31*
UTVECKLING AV NY UNDERVISNINGSDESIGN – DELSTUDIE 3 31
Validitet och tillförlitlighet i delstudie 3 .... *33*
UTVÄRDERING AV UNDERVISNINGSDESIGN – DELSTUDIE 4 34
Validitet och tillförlitlighet i delstudie 4 .... *36*
RESULTAT **38**
DELSTUDIE 1 – POSITIONERING FÖR KRAFTFULL FOTOSYNTESKUNSKAP 38
DELSTUDIE 2 – DELPHISTUDIES FRAMTAGANDE AV RAMVERK 39
DELSTUDIE 3 – UNDERVISNINGSDESIGN FÖR FOTOSYNTESUNDERVISNING 40
DELSTUDIE 4 – UTVÄRDERING AV UNDERVISNINGSDESIGNENS EFFEKTIVITET. 43
SAMMANFATTANDE HELHETSRESULTAT 45
DISKUSSION **46**

DELSTUDIE 1 – BETYDELSEN AV BREDDAD FOTOSYNTESUNDERVISNING........ 47
DELSTUDIE 2 – SKAPANDE AV ETT RAMVERK FÖR FOTOSYNTESLITTERACITET 48
DELSTUDIE 3 – UTVECKLANDE AV EN FOTOSYNTESUNDERVISNINGSDESIGN... 49
DELSTUDIE 4 – POSITIVA EFFEKTER AV EN BREDDAD FOTOSYNTESUNDERVISNING.. 50
HANTERANDE AV KOMPLEXITET OCH BIOLOGISKA ORGANISATIONSNIVÅER 51
HANTERANDE AV MISSUPPFATTNINGAR I FOTOSYNTESUNDERVISNING 52
ÖKAT ENGAGEMANG, INTRESSE OCH MOTIVATION FÖR FOTOSYNTES............. 53
Modell för skapande av elevengagemang 55
STUDIENS BEGRÄNSNINGAR 57
AVHANDLINGENS BIDRAG OCH FRAMTIDA FORSKNINGSBEHOV....................... 57
REFERENSER 60

Förord av författaren

Min hand trevade sig fram över barken för att möta min klasskamrats utsträckta hand. Det var en småkulen septemberdag då hela årskurs två klassen fått åka iväg till den gamla Mölnbackaeken. Vår uppgift var att med våra kroppar omsluta den grova eken. Om jag kunde nå Jan-Åkes hand så hade vi fullbordat en kroppsomslutande ring runt den gamla grova eken. Efter att ha sträckt ut mig så långt jag kunde nådde jag Jan-Åkes hand och det var fullbordat. Eken hade fått vår gemensamma kram.

Varför berättar jag det här gamla minnet från mig själv som skedde när pojken Anders var 8 år? Jo, efter att ha funderat över varför jag i hela mitt liv gillat skog och träd samt nu skrivit en avhandling om fotosyntes så har jag kommit fram till att tidiga upplevelser har en stor betydelse för framtida intressen. Bilden nedan är ett gammalt kort taget 1909 av Mölnbackaeken tillsammans med skogvaktare Löwenhjelm. Det är den eken som vi i klass 2 a tillsammans fick krama om ett halvt sekel senare. Tyvärr är den nu sedan mer än 50 år borta efter att den fallit i en storm. Upplevelsen av eken har jag kvar och den har fortsatt påverka mig i vuxen ålder. Med anledning av detta vill jag poängtera upplevelsernas betydelse i grundskoleelevers skolgång.

Foto från SLUs bildarkiv.

Under de drygt 30 år som jag har arbetat som högstadielärare har jag ofta mött elever som tror att biomassan i träd främst bildas från partiklar i marken. När jag då frågar varför det inte uppstår gropar under stora, gamla träd, får jag ibland svaret:

> ”Jo, du förstår Anders, rotsystemet är så stort och finförgrenat att det blir mängder av så små hål att det inte märks.”

Vi människor tenderar att hålla fast vid våra tidigare uppfattningar om saker och ting – förmodligen för att det känns obekvämt och lite jobbigt att ändra dem. Som tur är har vi oftast en sådan flexibilitet att vi kan ta till oss även motstridiga fakta och slutligen omvärdera våra uppfattningar till något som verkar mer korrekt.

Varför berättar jag detta? Jo, fotosyntesundervisning är en del av den naturorienterande undervisningen där både elever och vuxna ofta har alternativa förklaringar eller har etablerat missuppfattningar om olika företeelser. Tvärsäkerhet är sällan konstruktivt och kan skapa onödiga konflikter. Jag menar att undervisningen har en viktig uppgift i att främja flexibilitet hos eleverna så att de vågar ta till sig fakta och vid behov ändra sina uppfattningar.

Detta gäller inte minst den globala växthuseffekten och andra företeelser i vår värld. I denna avhandling har jag strävat efter en bredare inriktning på fotosyntesundervisningen i högstadiet och utvecklat en undervisningsdesign som jag hoppas ska underlätta för elever att överge liknande missuppfattningar om fotosyntesen och bättre förstå dess stora betydelse.

Inledning

> ”Fotosyntesen sticker tydligt ut som den mest betydelsefulla biokemiska processen på jorden”
>
> (Barker & Carr, 1989a, s. 41, översatt av undertecknad)

Fotosyntesundervisning ses allmänt som viktig och betydelsefull och finns därför med i alla länders kursplaner i biologi (Jančaříková & Jančařík, 2022; Svandova, 2014). Den ses också som ett typexempel på ett svårtillgängligt kunskapsområde inom naturvetenskaplig undervisning. Fotosyntesundervisningen kan därför också fungera vägledande för annan undervisning med liknande komplexa svårigheter såsom exempelvis evolution och klimatförändringar (Jančaříková & Jančařík, 2022). Trots stora ansträngningar och nästan fördubblingar av antalet didaktiska forskningsartiklar var tionde år sedan 1980-talet i området, så anses fortfarande inte fotosyntesundervisningen utvecklats på ett sätt som bidrar till elevernas kunskapsutveckling i området på ett tillförlitligt sätt (Jančaříková & Jančařík, 2022; Mohan et al., 2009; Näs 2010; Parker et al., 2012).

Svårigheter i fotosyntesundervisning

Fotosyntes betraktas som ett av de mest komplexa och utmanande undervisningsområdena inom biologi, både för elever att förstå och för lärare att förmedla och undervisa om (Métioui et al., 2016). Undervisningen om fotosyntes präglas av flera svårigheter som påverkar både lärarens undervisning och elevernas lärande. Innehållet upplevs ofta som abstrakt, vilket anses bero på fotosyntesens komplexa natur och dess koppling till olika biologiska organisationsnivåer i varierande förklaringsmodeller (Jančaříková & Jančařík, 2022).

Elever har ofta svårt att följa med i resonemangen eftersom de inte fullt ut förstår fotosyntesens betydelse i olika sammanhang och system (Covitt et al., 2023). Detta orsakar upplevd bristande relevans för fotosyntesundervisningen hos eleverna, vilket leder till lågt engagemang och bristande motivation. Lärandet blir av dessa orsaker lidande och konsekvensen blir också att alternativa förklaringar och missuppfattningar lätt uppstår eller förstärks (Dolenc & Orbanić, 2016).

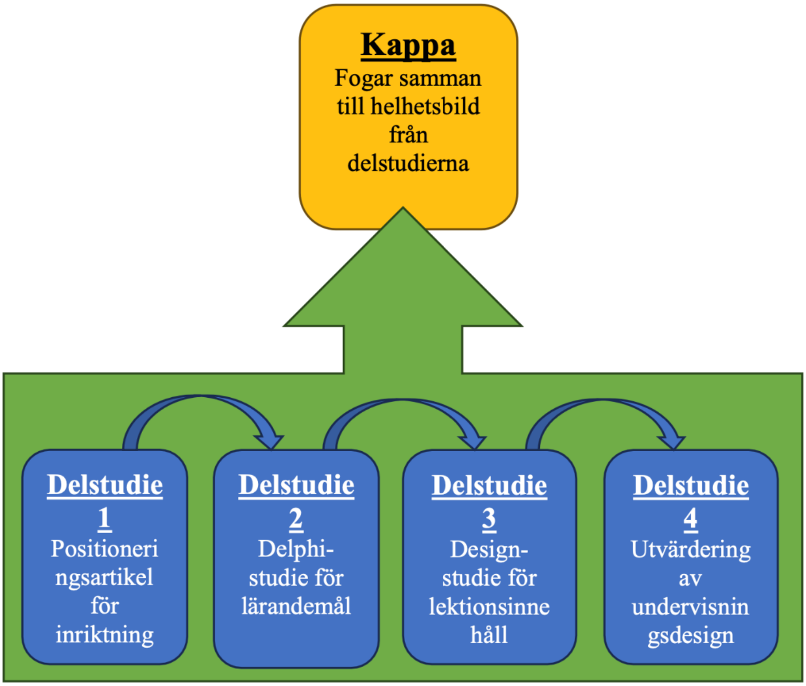
Sammantaget utgörs fotosyntesundervisningens utmaningar därför främst av två aspekter som är delvis kopplade till varandra. För det första upplevs undervisningen inte som relevant då den fokuserar på biokemiska processer utan kopplingar till varför fotosyntes är viktigt för naturen och människan. Undervisningen upplevs då också av eleverna som abstrakt och ointressant. För det andra så leder komplexiteten av innehållet och det upplevda ointresset till att olika typer av missuppfattningar kan uppstå hos elever. Dessa missuppfattningar är svåra att korrigera. Detta är avhandlingens huvudsakliga problemområde.

Problemen adresseras och åtgärdas genom att på ett systematiskt sätt utveckla en uppdaterad fotosyntesundervisning. Mer om detta följer i bakgrundsdelen men först lite om avhandlingens disposition.

Avhandlingens disposition

Avhandlingen består av en kappa med fyra efterföljande delstudier som bilagts efter kappan i form av artiklar. Innehållet i kappan tar upp innehåll från de fyra delstudierna med avsikten att förmedla dels en helhetsförståelse av doktorandprojektet och dels att sammanfatta, bredda och fördjupa delstudiernas bidrag till forskningen om utvecklandet av elevers fotosynteslitteracitet. Med litteracitet avses här inte bara den rent språkliga kunskapen om fotosyntes, utan också en form av naturvetenskaplig allmänbildning om fotosyntes, på engelska kallad *photosynthesis literacy*. I begreppet fotosynteslitteracitet inbegrips i avhandlingen olika kunskaper kopplade till fotosyntes i bred bemärkelse där förståelsen för fotosyntesens betydelse för naturen och samhällslivet är betonad.

I Figur 1 ses en schematisk bild av kappans upplägg. Innehåll från de fyra delstudierna infogas till en kappa med tillhörande reflektioner. Delstudierna besvarar olika frågor om fotosynteslitteracitet och fotosyntesundervisning och bygger på resultat från föregående delstudie.



Figur 1. *Översikt visande hur delstudierna sammanfogas till avhandlingens kappainnehåll.*

Forskningsprocessen startade med delstudie 1. Studien är en så kallad positioneringsartikel. I delstudien utreds och argumenteras för vilken typ av litteracitet fotosyntesundervisningen ska syfta till för att också ge kraftfull kunskap om fotosyntes. Vad som ska ingå i den kraftfulla fotosynteskunskapen fördjupas och preciseras sedan i delstudie 2, i en så kallad Delphi-studie. Uppdaterade ämnesområden med tillhörande specifika lärandemål fastställs här i ett ramverk för fotosynteslitteracitet.

Delstudie 3 är en undervisningsdesignstudie. En undervisningsdesign bestående av tio lektioner utvecklas utifrån de identifierade lärandemålen i delstudie 2 med syfte att utformas så att eleverna utvecklar fotosynteslitteracitet för kraftfull fotosynteskunskap. Delstudie 4 är en utvärderingsstudie som utvärderar undervisningsdesignen i delstudie 3. Den består av både en kvantitativ och kvalitativ del. I kappans diskussion sammanlänkas sedan resultaten för de olika delstudierna.

Bakgrund

Fotosyntesprocessen definieras som den biokemiska process som utförs av växter, alger och cyanobakterier varvid de oorganiska ämnena koldioxid (CO_2) och vatten (H_2O) med hjälp av ljusenergi bildar kolhydrater och syrgas (O_2) (Whitmarsh & Govindjee, 1999). Flera forskare har också påtalat hur betydelsefull fotosyntesen är som den primära källan till energi och syrgas till biosfären, matproduktion och ekologisk balans, se exempelvis Hall och Rao (1999) och Stirbet et al. (2020).

Bakgrunden i avhandlingen utgörs av två huvudsakliga delar. Första delen tar upp relevansproblemet i traditionell fotosyntesundervisning med åtföljande genomgångar av fotosyntesens kopplingar till hållbarhetsfrågor och andra samhällsbetydelser. Andra delen tar upp andra svårigheter såsom komplexiteten med begrepp från olika naturvetenskapliga ämnesområden och biologiska organisationsnivåer samt elevernas olika missuppfattningar inom fotosyntesområdet.

Bristande relevans i fotosyntesundervisningen

Begreppet relevans är sedan länge etablerat i forskningslitteratur om naturvetenskaplig undervisning och används för att beskriva meningsfullhet, intresse, engagemang och betydelse (Albrecht & Karabenick, 2018). Relevans omfattar både yttre och inre motivation (Stuckey et al., 2013). Relevansen kan relatera till både vardagsliv och framtid, men den gemensamma nämnaren är elevengagemang med motivation för lärande – i denna studie relaterat till fotosynteslitteracitet.

I avhandlingen avser termen relevans den enskilda elevens inre motivation att engagera sig undervisningens innehåll, grundat i upplevelsen av att själva lektionsinnehållet, såväl som undervisningsformen, är intressant och betydelsefull.

Fotosyntesundervisningen upplevs ofta av elever som abstrakt och svåråtkomlig beroende på traditionellt teoretiskt innehåll fokuserat på biokemiska processer (Skribe Dimec & Strgar, 2017). För att öka upplevelsen av relevans, intresse, inre motivation och engagemang krävs förändrad undervisning. I litteraturen har undervisningsdesigner, som exempelvis undersökande arbetssätt, föreslagits som ett sätt

att göra fotosyntesundervisningen mer motiverande (Mekonen & Kelkay, 2023; Skribe Dimec & Strgar, 2017).

Fotosyntesen spelar en central roll i att möta dagens samhälleliga och hållbarhetsrelaterade utmaningar såsom energiförsörjning, klimatfrågor, biodiversitet och matförsörjning (Janssen et al., 2014). Ungdomar får i stor utsträckning sin information om hållbarhetsfrågor via media, vilket anses öka naturvetenskapens relevans för dem (Keinonen et al., 2022). Om dessa hållbarhetsproblem inte behandlas i fotosyntesundervisningen riskerar eleverna att uppfatta undervisningen som irrelevant.

Avsaknaden av ett kontextuellt sammanhang ökar även risken för att eleverna missar fotosyntesens avgörande betydelse för den vetenskapliga förståelsen av biologi och för utvecklingen av naturvetenskaplig bildning i stort (Jančaříková & Jančařík, 2022). Fler kopplingar till elevernas vardagsliv och/eller framtidsperspektiv behövs för att göra fotosyntesundervisningen mer meningsfull. Kontextualisering av undervisningens innehåll kan dessutom underlätta etablering av epistemisk kunskap hos eleverna (Barzilai & Chinn, 2017). Detta genom att exempelvis förstå hur de fotosyntesproducerade glukosmolekylerna i växten används både som energikälla och byggmaterial till andra organiska ämnen. För att sedan också stegvis förstå hur fotosyntes bidrar till överlevnad och biomassa i växterna och dess betydelse för ekosystemens bibehållande. Förstår eleverna fotosyntesens betydelse i kontextuella sammanhang ökar därför troligen motivationen för att lära sig mer kunskapsinnehåll (Murayama & von Keyserlingk, 2025).

En annan viktig faktor för upplevelsen av relevant undervisning är kopplingen till elevernas vardagsliv. Detta är särskilt betydelsefullt i fotosyntesundervisningen, som annars riskerar att upplevas som alltför teoretisk och abstrakt för att väcka motivation och engagemang för lärande (Jančaříková & Jančařík, 2022). Det kan ske via kopplingar till matens ursprung, odling av egna växter med mera.

Ytterligare ett exempel på undervisningsinnehåll som kan främja relevans är att läraren via lektionsuppläggen visar exempel på hur naturvetenskaplig kunskap kan tillämpas för positiv påverkan i olika mänskliga sammanhang (Sheldrake et al., 2017). Det kan gälla hur naturvetenskapligt kunnande har underlättat bekämpande av sjukdomar via utvecklande av vaccin, kroppens reaktion på träning etc.

(King, 2011). I fotosyntessammanhang kan det gälla minskningar av hållbarhetsproblem såsom tillgången på mat, bekämpande av global uppvärmning eller bevarande av ekosystem med dess biologiska diversitet.

Nedan följer en genomgång av kontextuella betydelser som fotosyntesen har, och som kan lyftas fram i undervisningen för att öka relevansen för eleverna genom kopplingar till naturen, människan och samhällslivet. Jag inleder med hållbarhetsfrågor.

Fotosyntesens betydelse för hållbarhetsfrågor

Vid Rio-konferensen 2012 formulerade Förenta nationerna (FN) riktlinjer för globala hållbarhetsmål, vilka samlades under Agenda 2030. I FN:s måldokument för hållbar utveckling (FN, 2025) återfinns flera globala mål som direkt kan kopplas till kunskapsområdet fotosyntes: bekämpa hunger (mål 2), säkerställa hållbar energitillgång (mål 7), motverka klimatförändringar (mål 13) samt bevara biologisk mångfald (mål 15).

Globalt mål 2 – att bekämpa hunger: Fotosyntesen spelar en avgörande roll för livsmedelsförsörjningen, då all energi i mat ytterst härstammar från växters och algers omvandling av ljusenergi till kemisk energi. Genom fotosyntesen bildas biomassa i ätbara organismer. Fördjupad kunskap om fotosyntesens betydelse för grödors tillväxt kan bidra till ökade skördar. Majoriteten av världens odlade grödor är C3-växter, vilka har lägre effektivitet i koldioxidupptag jämfört med C4-växter. Genom gentekniska metoder skulle C3-grödor potentiellt kunna modifieras för att efterlikna C4-växternas fotosyntetiska egenskaper, vilket kan leda till globalt förbättrade skördar (Ort et al., 2015).

En engagerande undervisning om fotosyntes kan stimulera intresse för växtodling och bidra till framtida livsmedelssäkerhet. Skolundervisning som inkluderar praktisk odling har visat sig öka elevers benägenhet att odla egen mat (Chang et al., 2016; Nkeiru & Rose, 2023).

Globalt mål 7 – att skapa hållbar energitillgång: Fotosyntesen erbjuder en naturlig modell för effektiv energiomvandling. Under geologiska epoker har fotosyntetiska processer bidragit till bildandet av fossila bränslen, vilka möjliggjorde industrialismens framväxt. Den snabba förbrukningen av dessa ändliga resurser är dock inte hållbar.

Istället krävs övergång till förnybara energikällor, såsom exempelvis-solenergi. Forskning pågår för att utveckla solpaneler inspirerade av fotosyntesens mekanismer med syftet att förbättra effektiviteten i el-produktion (Gong & Wasielewski, 2019). Undervisning som lyfter fotosyntesens roll i energiförsörjning skulle också kunna väcka intresse för teknikutveckling, även inom solenergiområdet (Cheung, 2011; Wang et al., 2022).

Biomassa, exempelvis ved, har också fortsatt stor betydelse som energikälla och inkomstkälla, särskilt i låginkomstländer (Arnold et al., 2023). Fotosyntesen är indirekt avgörande för denna resurs.

Globalt mål 13 – att bekämpa klimatförändringarna: Fotosyntesen binder koldioxid från atmosfären och omvandlar den till kolhydrater i växter och alger, vilket minskar mängden koldioxid i luften. Denna naturliga process bidrar därmed till att dämpa växthuseffekten.

Genom att öka mängden biomassa i växter och alger skulle växthuseffekten kunna mildras via ökad kolinlagring (Ringsmuth et al., 2016). Att använda timmer eller andra växtfibrer som kolsänkor i byggnationer och andra permanenta installationer skulle också kunna bidra till minskande av koldioxidhalten i atmosfären (Dzhurko et al., 2024). Även odling av makroalger kan bidra både till matförsörjning och mildrande av växthuseffekten (Pessarrodona et al., 2024).

Globalt mål 15 – att bevara biologisk mångfald: Fotosyntesen i växter och alger är primärproducenter i ekosystemen över hela jorden. Fler olika arter med fotosyntes bidrar också till artrikare ekosystem (Cao et al., 2025). Utan omvandling av solenergi till kemiskt bunden energi via fotosyntesen så skulle inte djur eller människor få någon energi via maten.

Utöver dessa hållbarhetsmål har även fotosyntes betydelse för samhällslivet, vilket är en kontext som beskrivs i följande avsnitt.

Fotosyntesens övriga samhällsbetydelser

Fotosyntesen påverkar lokalklimatet på olika sätt. Dels direkt via höjning av luftfuktigheten i områden med träd och andra växter, samt dels indirekt via att ge skugga och vindskydd (Feng et al., 2023). I

varmare klimatzoner bidrar detta extra mycket till drägligare lokalklimat för befolkningen. Exempelvis sänker urbana grönområden temperaturen i heta städer (Hamada & Ohta, 2010). Träd och buskage ger också visst vindskydd och bromsar därmed inte bara upp vindhastigheten utan minskar också drivbildning av snö i kallare klimatzoner. Utöver lokalklimatsförbättringar så bidrar vegetation med träd till minskad risk för jorderosion (Zhou, 2021). Vattenavrinningen i områden med mycket byggnader, vägar och andra hårdgjorda områden där människan tagit bort vegetation sker snabbare. Detta medför att risken för översvämningar ökar (Yu et al., 2024). Exempelvis så täcks enligt Eurostat (2022) 4,5 procent av Europeiska landarealer av asfalt eller andra av människan hårdgjorda ytor. Motsvande tal är för Tyskland (7-9%), Nederländerna (13-15%) och Sverige (3%).

Samhällslivet är även på andra sätt indirekt beroende av fotosyntes. Näringslivsaktiviteter såsom exempelvis jordbruk, pappersindustri, sågverk är sådana affärsverksamheter. Fortfarande är samhället i stor utsträckning också beroende av fossila bränslen med ursprung från fotosyntes, för bland annat transporter, kemisk industri och uppvärmning. Även turism är en bransch som har kopplingar till fotosyntes via rekreationsmöjligheter (Zhou et al., 2022).

Klorofyllets gröna färg har lugnande effekt på människor. Detta gör att skogar, parker och andra grönområden har en positiv hälsoeffekt på människor både fysiskt och mentalt (Freymueller et al., 2024). I stadsområden blir därför grönområden extra betydelsefulla (Lee & Maheswaran, 2011). På senare tid har också skogsterapi blivit mera uppmärksammad som prevention av hälsoproblem och stresshantering för alla ålderskategorier (Rajoo et al., 2020; Rosa et al., 2021). Sedan länge är japanska shinrin-yoku (skogsbad) känt som en sådan hälsobefrämjande terapi (Siah et al., (2023). Grönområden ger också en större möjlighet till allmän rekreation via friluftsaktiviteter.

De ovan uppräknade olika aspekterna på fotosyntesens betydelse för människa och samhälle, liksom tidigare för hållbarhetsfrågor, är sådant som skulle kunna minska elevernas upplevelse av att fotosyntesundervisning är ointressant och irrelevant. Som det nu är leder relevansproblemen, på grund av att eleverna inte ser vad fotosyntesundervisningen har för betydelse för dem nu eller i framtiden, till minskat engagemang och motivation (Aschbacher et al., 2010; Ayuso et al., 2022; Eisen & Stavy, 1993; Matthews 2009). Fotosyntesens

kontextuella betydelse för naturen, människan och samhällslivet behöver istället framgå i fotosyntesundervisningen enligt min mening. Då skulle förutsättningarna finnas för ökad elevupplevd relevans i fotosyntesundervisning. Ökad relevans kan också underlätta för eleverna när de ska lära in det komplexa innehållet i fotosyntesundervisningen.

Komplext innehåll i fotosyntesundervisningen

Fotosyntesundervisning upplevs ofta som komplicerat och komplext av såväl elever som lärare (Jančaříková & Jančařík, 2022; Karakaya et al., 2021; Svandova, 2014). Många av de upplevda svårigheterna kretsar kring det naturvetenskapliga innehållet, bland annat är de inblandade gaserna i fotosyntesen osynliga och själva fotosyntesprocessen sker på en submikroskopisk nivå, det vill säga på molekylnivå och inte tillgängligt för våra sinnen, vilket gör att det blir svårt att konkretisera undervisningsinnehållet. Komplexiteten kan också bidra till missuppfattningar, exempelvis kan det vara svårt för eleverna att förstå att gaser har en massa (Wynn et al 2017). När läraren går igenom fotosyntesen med hjälp av sammanfattande reaktionsformel så kopplar eleverna ofta inte till att koldioxid kan bidra till växtens massa. Istället tänker sig eleverna att partiklar som tas upp via rötterna bildar all biomassa (Jančaříková & Jančařík, 2022). Bristen på konkretiseringar i undervisningen orsakar också att elever upplever fotosyntesundervisning som allt för abstrakt (Jančaříková & Jančařík, 2022; Näs, 2010).

Kunskaper från fysik gällande energibegrepp och kemi gällande molekylära processer behövs också för att kunna förstå fotosyntesen på en djupare nivå än rent mekanistiskt memorerad utantillkunskap. Fotosyntesprocessen är svår att kortfattat visa även via kemiska reaktionsformler. Fotosyntesprocessen brukar ofta sammanfattande beskrivas med följande kemiska reaktionsformel:

$$6CO_2 + 6H_2O + \text{ljusenergi} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

Problemet med denna reaktionsformel är inte bara att den kräver kunskaper i kemi för att förstås. Den är också direkt vilseledande för förståelsen av hur syrgas bildas. Under fotosyntesprocessen oxideras vattenmolekyler med hjälp av ljusenergi så att syrgas (O_2) bildas. För att detta tydligare ska framgå borde istället reaktionsformeln enligt Stirbet et al. (2020) skrivas med tolv vattenmolekyler i vänstra

startledet så att det lättare kan förstås att syrgasen har sitt ursprung i vattenmolekyler:

$$6CO_2 + 12H_2\mathbf{O} + \text{light energy} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\mathbf{O}_2 + 6H_2O.$$

Ovanstående är ett exempel på hur komplex och svårbeskriven fotosyntesen är även vid högre utbildning. Det är då kanske inte så konstigt att undervisning om fotosyntes i högstadieundervisningen av elever anses svårförståelig (Stavy et al., 1987). Enligt Matthews (2009) är det också välkänt att barn i alla åldrar och skolnivåer har stora svårigheter att förstå och greppa fotosyntesen. Elevernas begreppsliga förståelse av processen ligger ofta långt efter vad man skulle kunna förvänta sig utifrån deras årskurs och den undervisning de fått genom skolsystemet (Jančaříková & Jančařík, 2022; Métioui, et al., 2016). Detta bekräftas också av Hartley et al. (2011) vilka inte kunde detektera någon förbättring i fotosynteskunskaper mellan årskurs 6 och 9.

Även blivande lärare tycks ofta ha problem med förståelsen av fotosyntes. Risken är att detta också påverkar deras framtida undervisning negativt (Jančaříková & Jančařík, 2022). Om undervisningen inom lärarutbildningen, och framförallt av lärare för de tidigare årskurserna, fokuseras på biokemiska fotosyntesreaktionen tenderar blivande lärare att inte förstå det biologiska innehållet fullt ut (Urey, 2018). Att senare i egen undervisning sätta in fotosyntesen i lämpliga sammanhang blir då svårt.

Fotosyntesens roll i större geologiska och ekologiska sammanhang som exempelvis kolets kretslopp via bildandet av kolhydrater innehållande kemisk bindningsenergi som senare också omvandlas till andra energiformer, eller blir till byggstenar inom växten, utgör ännu ett problem att förstå (Pedrera & Ruiz-Gonzáles, 2022).

Systemtänkande krävs för att förstå fotosyntesens betydelse i dessa vidare biologiska, geologiska och samhälleliga perspektiv (Dessen Jankell, 2023; Schwartz & Brown, 2012). Inte heller blir komplexiteten lättare av att undervisningen också behöver röra sig mellan olika biologiska organisationsnivåer representerandes olika skalstorlekar.

Fotosyntesen förklaras på olika biologiska organisationsnivåer

Inom biologiundervisning förklaras ofta olika fenomen inom kort tidsram på olika biologiska organisationsnivåer. Detta gäller även för fotosyntesen (Knippels, 2002). I praktisk undervisning har detta visat sig svårt att genomföra (Thyberg et al., 2024; 2025; Thörne & Gericke, 2014). Även i fotosyntesundervisningen finns detta problem eftersom undervisningen ofta har ett fokus som rör sig mellan olika organisationsnivåer. I ena stunden hålls undervisningen på en för ögat synlig nivå, med blad, stam och rötter på en växt, för att vid ett annat tillfälle under en annan lektion adressera mikroskopisk nivå med kloroplaster och klyvöppningar. Dessutom berörs emellanåt även submikroskopisk nivå med makromolekyler som klorofyll eller mindre molekyler som koldioxid-, vatten-, syrgas-, och glukosmolekyler. För att förstå fotosyntesens betydelse berörs också större företeelser såsom ekosystem och geologiska kretslopp (Field et al., 1998).

Dessa växlingar mellan olika skalstorlekar på skilda biologiska organisationsnivåer kan vara svåra för elever att förstå. Här krävs en tydlighet från lärare. Vissa forskare rekommenderar cykliska guidade växlingar mellan dem såsom exempelvis Knippels och Waarlo (2018) cykliska "jojo-modell". Svårigheter med att följa undervisningen på olika organisationsnivåer riskerar således att leda till att missuppfattningar uppstår eller förstärks.

Missuppfattningar om fotosyntesrelaterade företeelser

Begreppet missuppfattningar är omdiskuterat inom den naturvetenskapsdidaktiska forskningen och benämns ibland som alternativa förklaringar eller prekonceptualiseringar för att inte skuldbelägga eleven eller den som skall lära sig ett visst kunskapsinnehåll. Begreppet används dock fortfarande ofta för att beskriva föreställningar som avviker från etablerad vetenskaplig kunskap (Guerra-Ries et al., 2024). I denna avhandling används definitionen enligt Stein et al. (2008), där missuppfattningar ses som uppfattningar som någon tror på, men som inte generellt accepteras av en grupp experter eller forskare i ämnet. Olika typer av missuppfattningar om fotosyntes är vanliga bland elever (Marmaroti & Galanopoulou, 2006; Svandova, 2014) och förekommer även bland lärare (Jančaříková & Jančařík, 2022).

Missuppfattningar etableras på olika sätt. De kan uppstå genom tidigare erfarenheter från vardagslivet, populärkultur eller media. En

bidragande orsak kan också vara en alltför teoretisk och mekanistisk undervisning med fokus på utantillinlärning, utan att djupinlärning sker (Guerra-Ries et al., 2024). Historiskt har även observationer utan tillräckliga kunskaper inom exempelvis kemi och fysik också lett till felaktiga slutsatser som lett till missuppfattningar (Métioui et al., 2016).

När missuppfattningar väl har etablerats är de svåra att korrigera genom traditionell förmedlingsundervisning (Akpinar, 2007). Begränsningar i människors kognitiva förmågor, såsom kognitiv bias, spelar en roll (Azzopardi, 2021). Människor har en tendens att försvara och behålla sina uppfattningar för att undvika att omvärdera dem, särskilt märks detta hos individer med metakognitiva brister (Pieschl, 2021). Dessa brister kan innebära överskattning av den egna förmågan eller motvilja att överge mentala genvägar. Konfirmationsbias är ett välkänt sådant exempel. Om ny information strider mot tidigare uppfattningar skapas kognitiv dissonans (Köpeczi-Bócz, 2025) som riskerar uppfattas som mentalt ansträngande så att faktainnehåll som talar emot en tidigare uppfattning kan negligeras. Med hjälp av nya erfarenheter och ny information kan dock tidigare missuppfattningar revideras till mer vetenskapligt hållbara förklaringar och på så sätt leda till djupare förståelse (Paillusson & Booth, 2025). Kunskaper om vanliga elevmissuppfattningar är avgörande för att de ska kunna korrigeras (Foster, 2018). Nedan följer exempel på sådana, enligt litteraturen vanliga missuppfattningar inom fotosyntesundervisningen:

- Biomassan i träd och andra växter bildas av fasta partiklar i marken som tas upp av rötterna.
- Fotosyntes är växternas cellandning.
- Cellandning kan bara ske i mörker.
- Fotosyntes och cellandning ses som direkta motsatser.
- Syrgas avges dygnet runt.
- Syrgasen kommer från koldioxiden.
- Fotosyntesen utförs av växter med avsikten att bilda syrgas.
- Fotosyntesen är ett objekt och inte en process.
- Fotosyntesen kan bara ske i blad.
- Klorofyll ses som produkt av fotosyntesen.

(Keles & Kefeli, 2010; Marmaroti & Galanopoulou, 2006; Svandova, 2014; Wynn et al., 2017; Özay & Öztas, 2003).

Förvirring kring fotosyntesens roll för ekosystemen är också vanligt förekommande (Karakaya et al., 2021). Detta hänger ofta samman med låg förståelse av energibegrepp och att energi kan omvandlas till olika former (Hartley et al., 2011; Mohan et al., 2009). Problem orsakade av dåliga biokemiska förkunskaper gäller också den i fotosyntesen producerade kolhydraten glukos. Dels vad själva glukosmolekylen kan vara för sorts kemiskt ämne men också vad som händer fortsättningsvis med glukosmolekylerna. Dessa utmaningar i fotosyntesundervisningen är en del av vad som enligt tidigare forskning strävas efter att förbättras (Skribe Dimec & Strgar, 2017; Lian & Peng, 2023).

Eftersom missuppfattningar om fotosyntesrelaterade företeelser tenderar att följa med genom utbildningssystemet ända upp till högskolenivå, och även påverkar vissa lärares förståelse, är det viktigt att åtgärda dem tidigt. Djupinlärning för epistemisk kunskap som tillgodogjorts eleverna genom undersökande naturvetenskapliga arbetsmetoder såsom experiment, objektiva mätningar eller modellering med åtföljande resonemang samt repetition och återkoppling är centrala undervisningsstrategier för att motverka missuppfattningar (Jančaříková & Jančařík, 2022).

Upplevda brister i fotosyntesundervisningen

Om lärare saknar den pedagogiska kunskap eller de verktyg som krävs för att göra att undervisningen upplevs mindre abstrakt, riskerar elevernas lärande att påverkas negativt (Jančaříková & Jančařík, 2022). Bristerna i pedagogiska verktyg kan också leda till att lärare förlitar sig på mer traditionell överföringsundervisning, vilket gör att undervisningen riskerar bli till en mer passiv överföring av läroboks-kunskap (Atchia et al., 2024; Métioui et al., 2016). Denna form av undervisning är enligt forskningen vanlig när det gäller fotosyntes. Undervisningen sker ofta utan genomtänkta transformationer eller anpassningar efter elevernas förkunskaper och eventuella missuppfattningar (Jančaříková & Jančařík, 2022). Denna undervisning presenterar fotosyntesen huvudsakligen som en kemisk reaktion innan eleverna har tillräckliga kemikunskaper för att förstå vad en kemisk reaktion innebär. Eleverna kan då inte heller förstå att energiomvandling i fotosyntesprocessen sker från ljus till kemiskt bunden energi i kolhydrater (Opitz et al., 2015; Ryoo & Linn, 2012).

Eleverna riskerar därmed att inte uppfatta fotosyntesens reella betydelse för ekosystemen och livet på jorden (Matthews, 2009). Det kan göra att undervisningen för eleverna blir svår att relatera till och upplevs därmed mindre relevant. Eleverna förstår inte vad undervisningen om fotosyntesen ska vara bra för, vilket i sin tur riskerar leda till låg studiemotivationen i en negativ nedåtgående spiral, och till och med även en negativ attityd till studier av naturvetenskap mer generellt (Jančaříková & Jančařík, 2022; Özcan, 2003).

Givet vår tids utmaningar och med anledning av den blygsamma framgången i elevernas förståelse av fotosyntesen (Mohan et al., 2009) kan det ifrågasättas om dagens fotosyntesundervisning har rätt fokus. Börjar man istället förstå fotosyntesen betydelse på djupet kan det istället leda till en fascinationskänsla av hur enormt stor betydelse fotosyntesen har (Andersson, 2008). Men för att komma dit krävs en förnyad fotosyntesundervisning.

Behovet av en uppdaterad fotosyntesundervisning

Elever behöver förstå varför fotosyntes är viktig för att uppleva ämnet som relevant att lära sig (Ayuso et al., 2022; Colglazier, 2015; Matthews, 2009). Om fotosyntesundervisningen fortsätter att bedrivas på samma mekanistiska sätt som ofta sker idag, riskerar de identifierade problemen att kvarstå. Det finns därför ett behov av en biologiundervisning som bättre inkluderar vår tids utmaningar, såsom exempelvis klimatförändringar, bevarandet av biologisk mångfald och livsmedelsförsörjning till en växande befolkning för att göra fotosyntesen mer relevant och motverka de många missuppfattningarna.

En utgångspunkt i denna avhandling är att om eleverna förstår att fotosyntesen erbjuder möjligheter att påverka hållbarhetsproblem genom ett medvetet och välinformerat nyttjande av växternas funktioner, ökar sannolikt deras motivation att lära sig om fotosyntes och dess betydelse. En sådan förståelse kan bidra till ökat intresse och engagemang, minska upplevelsen av bristande relevans och i förlängningen leda till bättre kunskaper om fotosyntesen (MacIntosh & Asghar, 2025).

Teoretisk bakgrund

Vad ska eleverna i grundskolan lära sig om fotosyntes? Detta är en fråga som berör naturvetenskap också rent generellt. Enligt Ryder (2001) så kan man utgå från funktionen av kunskapen för att besvara frågan. Han tar upp fem områden som viktiga utifrån hur man kan argumentera för deras betydelse. Det första *ekonomiargumentet* utgår från att skapa välstånd för sig själv och nationen. *Andvändbarhetsargumentet* utgår från att det är praktiskt att kunna viss naturvetenskap för att lösa vardagliga problem. *Demokratiargumentet* utgår från att medborgarna i demokratiska samhällen ska kunna utnyttja sina demokratiska rättigheter effektivare genom välinformerad kunnighet i naturvetenskap. *Sociala* argumentet utgår från att det behövs förståelselänkar mellan olika samhällsgrupper så samhället lättare hålls samman. Naturvetenskapssamhället får heller inte bli en isolerad ö i samhällskroppen. Slutligen det *kulturella* argumentet utgår från att alla behöver veta något om naturvetenskap av samma skäl som att vi behöver veta en del om exempelvis historia, musik eller konst. Naturvetenskap är helt enkelt en del av vår gemensamma kultur.

Inom internationell forskningslitteratur används den engelska termen scientific literacy, vilket jag översätter till naturvetenskaplig litteracitet, som begrepp för vad eleverna ska tillgodogöra sig som kunskap, förmågor eller kompetenser inom naturvetenskap. Någon klar och entydig definition på litteracitet är svår att finna i litteraturen. Synen på naturvetenskaplig litteracitet utvecklas och förändras. Roberts (2007) menar att naturvetenskaplig litteracitet är benämning på de naturvetenskapliga kunskaper och förmågor som man förväntar sig att ett samhälle behöver. I takt med samhällsförändringar och dess ändrade behov så har också synen på litteracitet förändrats. Tendensen i synen på naturvetenskaplig litteracitet har varit en breddning över tid, vilket avspeglas i de så kallade visionerna inom området som jag återkommer till i nästa avsnitt. Liknande breddning har ännu inte setts inom fotosyntesundervisning trots påtalat behov av en sådan (Jančaříková & Jančařík, 2022; Matthews, 2009).

Breddningen av litteracitetsbegreppet till de numera omtalade tre visionerna inom naturvetenskaplig litteracitet sammanfaller med min egna syn på behovet att bredda fotosyntesundervisning för att skapa en nödvändig kontext och relevans för kunskapsinnehållet. Skälet är

att en breddning har potential att ge en större kontextuell förståelse hos eleverna för fotosyntesens betydelse och att därmed relevansproblemet i fotosyntesundervisningen kan minskas, se genomgången av litteraturen i bakgrunden. Det är också därför jag valt att utgå från de tre visionerna, beskrivna inom ramen för naturvetenskaplig litteracitet, och använda dem som teoretisk bakgrund för delstudierna.

För att åstadkomma den sökta litteraciteten hos eleverna krävs en transformation av ämneskunskaper till lämpligt undervisningsinnehåll (Gericke et al., 2018). Transformationsbegreppet tas därför upp här mera ingående i teoriavsnittet och följs sedan av läroplansteoretiska begreppet kraftfull kunskap (Young, 2008) som beskriver ämnesspecifik kunskap som ger elever agens i sina liv, men som inte finns tillgängliga utanför skolkontexten. Kraftfull kunskap ses i avhandlingen som ett strävansmål innehållande de tre litteracitetsvisionerna inom fotosyntesundervisning. Här följer nu en genomgång av de tre litteraciteterna och hur dessa teoretiska utgångspunkter format transformationen av ämnet fotosyntes till fotosynteslitteracitet i de olika delstudierna.

Naturvetenskaplig litteracitet enligt vision I

Vision I inom naturvetenskaplig litteracitet handlar om begrepp och teorier hämtade mera direkt från naturvetenskapliga ämnesdiscipliner (Roberts & Bybee, 2014). Detta är också den historiskt första utvecklade visionen. Innehållet i vision I kopplar till Ryders första ekonomiska argument beroende på dess ambition att utbilda fler kunniga ingenjörer, läkare och naturvetenskapliga forskare för förbättringar av nationers ekonomiska förhållanden. Inom grundskolan har det därför tidigare under 1960-70 talen setts som att naturvetenskaplig undervisnings främsta mål är att förbereda elever för kommande högre studier inom naturvetenskap (DeBoer, 2000).

I delstudie 2, då lärandemål togs fram av en Delphi-panel, utfördes en sortering av lärandemålen till olika teman. Två av dessa teman betraktades som tillhörande fotosynteslitteracitet vision I mål.
Första temat innehåller huvudsakligen ämnesområden och lärandemål för begreppsförståelse av de ingående komponenterna i fotosyntesprocessen. Tema två vidgar kontext till att innefatta även kopplingar mellan fotosyntes och andra biokemiska processer i växten samt till omgivningen som exempelvis kolets kretslopp. Dessa

ämnesområden är kopplade till ämnesdisciplinen och anses ha en bäring via positivistiskt systematiskt framtagen kunskap som bygger på den ontologiska verklighetssynen realism. Epistemologiskt anses kunskapen här framtagen via positivismens fokus på teoribildningar utifrån experiment, replikerbarhet och objektiva iakttagelser. Denna naturvetenskapliga litteracitet är viktig för att motverka de många missuppfattningarna som identifierats hos elever (Yenitha et al., 2019).

Inom den framtagna undervisningsdesignen i delstudie 3 finns inslag av samma positivistiska arbetssätt som använts inom ämnesdisciplinen biologi för etablerande av reliabel kunskap. Undersökande arbetssätt med experiment och observationer samt modelleringar är exempel på sådana arbetssätt som eleverna har fått använda i undervisningsdesignen. Vision I lärandemålen utgör en majoritet av de framtagna lärandemålen och kan ses närmre beskrivna i delstudie 2.

Naturvetenskaplig litteracitet enligt vision II

Vision II inom naturvetenskaplig litteracitet handlar om att förbereda eleverna för de naturvetenskapliga fenomen som de kommer möta i sin vardag under sina kommande liv och kopplar mera till Ryders andra argument om användbarhet. Roberts (2007) har haft en central position i utvecklandet av vision II och propagerat för dess betydelse och behovet att lära sig naturvetenskap utifrån detta nyttoperspektiv. Enligt vision II är det av vikt att ta upp naturvetenskapligt kunnande som alla elever behöver behärska för närvarande och för framtida behov i vuxenlivet (Roberts, 2007).

Inom tema tre från delstudie två utvecklas ämnesområden och lärandemål gällande fotosynteslitteracitet kopplade till vision II. Där fokuseras på vad elever kommer att stöta på i sitt vardagsliv gällande fotosyntes. Hållbarhetsfrågorna är i sammanhanget närmast oundvikliga för eleverna att inte stöta på, inte minst via media (Keinonen, 2022). Det är också orsaken till varför lärandemålen för vision II tillsammans med ekosystemtjänster handlar om hållbarhet på olika sätt.

Ämnesområdena och lärandemålen angående vision II är också framtagna i delstudie 2. De tas upp i undervisningsdesignen i delstudie 3 genom mestadels gruppuppgifter att diskutera. Dessa beskrivs i delstudie 3 och utvärderas i delstudie 4.

Epistemologiskt ligger vision II närmre fenomenologiskt meningsskapande och socialkonstruktivistiska perspektivtaganden med större naturvetenskapligt samhällsengagemang (Holbrook, 2022; Sjöström & Eilks, 2018). Kunskap ses därför inom vision II som något som konstrueras och upptäcks via dess mening i sammanhanget. Lärande sker genom aktivt meningsskapande, där eleven tolkar och integrerar information utifrån upplevelser via erfarenheter och språklig social kontext. Vetenskapliga kunskapen blir här därför inte absolut utan mera situationsbunden och förhandlad.

Naturvetenskaplig litteracitet enligt vision III

Vision III inom naturvetenskaplig litteracitet är den senast framtagna visionen. Den är mera heterogen än de övriga två visionerna och kopplar mera till Ryders argument om demokrati, sociala frågor och kultur. Vision III anses vara en mera vetenskapskritisk vision än de två föregångarna (Valladares, 2021). Anledningen till att litteracitet vision III togs fram var att ämnesdidaktiska forskare och utbildningsteoretiker upplevde att både Vision I och Vision II hade begränsningar i hur de adresserade vetenskapens roll i samhället och i individens liv. Kritik av västerlandets naturvetenskap kom också från postmodernistiskt håll, exempelvis via Harding (1998). En tredje naturvetenskaplig litteracitetsvision är därför efterfrågad.

Via vision III kan förståelsen av vetenskaplig bildning, fördjupas och breddas. Särskilt gäller detta i relation till agens, demokrati, hållbarhet, makt, rättvisa och identitet (Sjöström, 2025). Det ansågs också att det behövs mera kritiskt granskande reflektioner av naturvetenskap och dess samhälleliga konsekvenser. Kritiken gällande vision I är att den gör anspråk på att vara objektiv och universell men ignorerar ofta sociala, kulturella och etiska dimensioner. Kritiken mot vision II gäller att den är för instrumentell, på så sätt att vetenskapen används som verktyg för att lösa problem men utan att ifrågasätta vem som definierar problemen (Sjöström & Eilks, 2018) och vilka som påverkas av naturvetenskapens så kallade landvinningar (Sjöström, 2025).

Vision III grundar sig även på mera komplexa litteracitetsfrågeställningar förstådda som alternativ till den västerländska huvudfåran (Sjöström, 2025). Sjöström har också kopplat vision III till nordeuropeiska utbildningstraditionen bildung och påtalat andra huvudspår inom vision III. Dels en mera filosofisk existentiell och relationell sida

som tar upp filosofiska värden, som förklarare och kulturexistentiella perspektiv. Dels en mera etisk socio-politisk inriktning som tar upp frågor om makt och vetenskapens förhållande till samhälleliga beslut och dess konsekvenser (Sjöström et al., 2017). Som exempel på vision III undervisning kan också samhällsrelaterade vetenskapsfrågor (På engelska kallat Socio-Scientific Issues) tas upp.

Liksom i de två föregående beskrivna visionerna tas vision III ämnesområden med tillhörande lärandemål fram i delstudie 2, vissa lektioner i undervisningsdesignen i delstudie 3 bygger på samhällsrelaterade frågor med naturvetenskapligt innehåll och lärandemålen länkade till vision III utvärderas i delstudie 4.

Sammantaget påpekar Sjöström och Eilks (2018) att de tre olika visionerna inte ska ses som strikt separata. Istället föreslås att de överlappar och kan kombineras beroende på utbildningskontext och mål med undervisningen. Ur mitt perspektiv menar jag att alla tre visionernas perspektiv behöver ingå i en undervisning för fotosynteslitteracitet med potentialen att förmedla kraftfull kunskap. Jag menar att perspektiven är komplementära, och att de olika perspektiven förstärker varandra.

För att åstadkomma en effektiv överföring av ämneskunskap kopplad till litteracitet krävs att undervisningen utformas så att eleverna kan ta till sig innehållet. I didaktiska sammanhang kallas detta för transformation, vilket är temat för nästa avsnitt.

Transformation av ämneskunskap

Inom undervisning är reproduktion av kunskap från en ämnesdisciplin till elever en central uppgift och en del av lärares professionskunskap (Gericke et al., 2018; Shulman, 1987). Denna reproduktion eller transformation benämns och beskrivs, men med vissa variationer, i olika undervisningsteoretiska ramverk såsom exempelvis transposition (Chevallard, 2007), omstilling (Ongstad, 2006) och rekonstruktion (Duit et al., 2012). De återspeglas också i Bernsteins (1971) arbete, som är förankrat i läroplanstraditionen och relaterat till begreppet rekontextualisering. Dessa ramverk är ofta starkt länkade till olika utbildningsvetenskapliga traditioner och då svåra att använda i mer praktikorienterad forskning. Därför har begreppet transformation föreslagits som ett inkluderande begrepp att använda för denna

omvandlingsprocess i mer praktikorienterad forskning (Gericke et al., 2018; 2025; Hudson, 2023). Transformation definieras där som en integrativ process genom vilken specialiserad kunskap, utvecklad inom ämnesdiscipliner, omformas och återrepresenteras genom olika processer både inom och utanför det formella utbildningssystemet (Gericke et al., 2018).

Behovet av transformationer beror på att kunskap inte direkt kan överföras till elever eftersom dessa i olika hög grad saknar förförståelse inom det pensum som avses att läras ut. Undervisningen inom fotosyntesområdet ställer extra höga krav på lärarna för att kunna utföra lämpliga transformationer beroende på ämnesområdets erkända komplexitet, se diskussion i Bakgrunden. Det krävs således goda fotosynteskunskaper hos lärarna samt förmåga att transformera ämnesinnehållet på ett sätt som möjliggör för eleverna att tillägna sig kraftfull kunskap med ett lektionsupplägg som motiverar dem och samtidigt anpassas efter deras förförståelse (Jančaříková & Jančařík, 2022).

Vid planering av lämpliga transformationer är tre analytiska frågor viktiga: *Vilket innehåll bör undervisas? Varför bör vi välja just det innehållet? Hur bör vi undervisa det valda innehållet?* Dessa är de tre grundläggande frågorna att ta itu med när man definierar och genomför en undervisning inom den didaktiska traditionen (Gericke, 2024). För att få kunskap om hur väl transformationsprocessen fungerat behövs också ytterligare ett steg. En utvärdering av hur mycket eleverna har lärt sig av det tilltänkta ämnesinnehållet. Denna del är viktig också för att kunna förbättra transformationerna inför framtida undervisning och den egna utvecklingen inom lärarprofessionen.

I avhandlingens delstudier har transformationsprocessen och de didaktiska frågorna efterliknats i en forskningsprocess. Delstudie 1 tar upp en ny syn på *vad* som ska läras ut inom fotosyntesundervisningen. Delstudie 2 specificerar målen och ger svar på *varför* man skall lära sig innehållet, samt preciserar *vad*-frågan ytterligare, utifrån en Delphipanel. Delstudie 3 besvarar *hur* undervisningsdesignen kan se ut och delstudie 4 utvärderar effekterna så att en start för framtida utveckling lättare kan genomföras.

För utförande av lämpliga transformationer finns olika strategier. En av dem, som också används i delstudie 3, är Klafkis fem steg för

planering av lektionsinnehåll (Klafki, 2006). Klafkis syn på didaktik har också enligt Blad (2020) likheter med kraftfull kunskap.

Kraftfull kunskap

Rubriken på avhandlingen innehåller begreppet kraftfull kunskap. Skälet är att det i delstudie två framtagna ramverket om fotosynteslitteracitet kan ses som en beskrivning av vad som är den kraftfulla kunskapen som eleverna behöver ha efter avslutat grundskola gällande fotosyntesen. Jag kommer här titta på behoven av transformation av kraftfull kunskap inom olika ämnesdiscipliner och i detta fall mer specifikt fotosyntesundervisning inom biologiämnet.

Begreppet kraftfull kunskap härstammar från anglosaxiska curriculumtraditionen och kallas på engelska för *powerful knowledge*. Young (2008) som gjorde begreppet känt reagerade på att eleverna i engelska skolor inte tycktes lära sig så mycket som han hoppats på genom de socialkonstruktivistiskt inriktade läroplanerna som han själv varit med och propagerat för under 1970-talet. Enligt Youngs (2008) analys hade fokus i undervisningen blivit för starkt kopplat till elevernas vardagsliv. Förändringen hade gått så långt, menade Young (2008) att många elevgrupperingar riskerade att aldrig få möjlighet att komma i kontakt med den systematiskt framtagna ämneskunskapen från de traditionella ämnesdisciplinerna. Han ansåg att något behöver göras och började analysera kunskapsstrukturer och fann att undervisningen behöver vila mera på en teoretisk grund av socialrealism i stället för socialkonstruktivism (Young, 2008).

Huvudargumentet är att eleverna riskerar missa och inte alls möta den systematiskt framtagna kunskapen inom ämnesdisciplinerna i undervisningen om lektionsaktiviteterna är allt för socialkonstruktivistiskt inriktade. Detta skulle kunna leda till att eleverna inte får ta del av det som Young myntade till kraftfull kunskap, det vill säga en kunskap som genom att den bottnar i ämnesspecifik disciplinär kunskap skapar effektiv agens hos eleverna i sina liv, till skillnad från vad isolerad så kallad vardagskunskap kan göra (Young, 2008).

Kunskapsstrukturer i kraftfull kunskap

Enligt Bernstein (2006) existerar två olika diskurser för kunskap. Dels den mera horisontella vardagskunskapen som karaktäriseras av

praktiskt användande för att klara fullfölja olika syften, och dels den vertikala diskursen som kännetecknas av systematisering där en progression sker med fördjupning och ökad specialisering. Den horisontella diskursen är vanligare inom samhällsvetenskaper och vertikala kunskapsstrukturer finns mera inom naturvetenskaper (Bernstein, 2006).

Kraftfull kunskap, det vill säga kunskap som gör individer självständiga och kompetenta att agera i olika frågor, anser jag behöver inkludera och utgå från båda de två beskrivna kunskapsstukturerna. Den horisontella kunskapsstukturen som pragmatiskt betonar vardagslivets förmågor att nå praktiska mål med hjälp av naturvetenskap liknar mest vision II litteracitet och den vertikala kunskapsstrukturen liknar mera litteracitet inom vision I. Anledningen till att båda kunskapsformerna är viktiga är att den systematiskt ämnesdisciplinära kunskapen som betonas i vision I behöver kopplas till vardagslivets mera praktiskt inriktade vision II kunskaper för att uppnå målet att skapa relevans och bidra till kraftfull kunskapen som kan användas i vardagslivet. Detta liknar också Carlgrens (2020) synpunkter och hennes påpekande att skifta fokus för kraftfull kunskap från kraftfulla fakta till kraftfull förmåga att kunna veta. Elever behöver av det skälet nya erfarenheter som grund för sin utveckling av kraftfulla sätt att veta, vilket kan åstadkommas med fler praktiska inslag i lektionsinnehållet (Cimer, 2012).

Diskursen för kunskapsstrukturen i vision III är mera inriktad mot kritiskt tänkande, agens och affektiva värden. För att kunskapen ska bli just kraftfull med egenmakt så behövs även denna tredje inriktning av litteracitet som i fotosyntesundervisningen kan kopplas till behovet av att skapa mening med undervisningsinnehåll länkat till hållbarhets och samhällsfrågor. Balanseras visionerna och tillgodogör sig eleverna kunskaperna från alla tre visionerna så menar jag att det finns större potential att utveckla en kraftfull kunskap.

Kraftfull kunskap inom ämnesdidaktik

Kraftfull kunskap är ett generellt läroplansteoretiskt begrepp tänkt att kunna appliceras på flertalet skolämnen. Ämnesdidaktiker har kritiserat begreppet för att inte i sig självt vara tillräckligt hjälpsamt i utvecklandet av ämnesdidaktik (Carlgren 2020; Deng 2018) medan Young och Muller (2013) menar att ämnesdisciplinerna är så olika att

de själva behöver utforska och forma vad som är kraftfull kunskap i sina respektive ämnesdiscipliner.

Lambert (2018) och Deng (2022) utvecklar Young och Mullers (2013) läroplansinriktade resonemang om kraftfull kunskap. Lambert genom att föra in ämnesdidaktiska resonemang om utvecklande av mänskliga förmågor och Deng (2022) vidareutvecklar vad som behöver analyseras när ämnesdidaktisk kraftfull kunskap utformas till skolämnesinnehåll. Även Deng et al. (2025) och Gericke et al. (2025) utvecklar dessa frågor och visar att det finns möjlighet att komparera och definiera kraftfull kunskap i olika skolämnen och ämnesområden. Gericke (2024) har föreslagit Delphi-metoden som ett sätt att göra detta empiriskt inom olika ämnesområden i biologi, vilket denna avhandling är ett exempel på inom ämnesområdet fotosyntes.

Behovet av att formulera vad kraftfull kunskap kan vara inom olika ämnen och ämnesområden kräver ny didaktisk forskning. Forskarskolan Kunskap, ämnen och kvalitet i lärarutbildning och klassrum (KÄKK), som undertecknad tillhör, utgör en möjlighet att utveckla förståelsen för vad kraftfull kunskap kan vara inom olika ämnesområden och hur den kan transformeras till ett undervisningsinnehåll.

Denna avhandling är ett exempel på detta. Avhandling undersöker hur kraftfull kunskap inom biologiundervisningens fotosyntesområde kan identifieras i form av fotosynteslitteracitet. Studien visar vilka ämnesområden och lärandemål från ämnesdisciplinens vision I, vision II och vision III som ska transformeras till undervisningsinnehåll inom högstadiets fotosyntesundervisning. Detta med avsikten att eleverna ska erhålla den kraftfulla kunskapen om fotosyntes och dess betydelse för hållbarhet och samhället som behövs för framtidens medborgare. När detta kunskapsinnehåll och lärandemål är fastslaget blir nästa steg att metodiskt transformera dessa till fotosyntesundervisningens lektionsinnehåll.

Syfte och forskningsfrågor

Avhandlingen ämnar att på vetenskaplig grund utveckla en ny uppdaterad fotosyntesundervisning med potential att utveckla elevers fotosynteslitteracitet, det vill säga en form av naturvetenskaplig allmänbildning om fotosyntes som ger eleverna kraftfull kunskap att använda ämnesspecifik biologisk kunskap i sin vardag. Syftet med avhandlingen är att, genom fyra delstudier, systematiskt utveckla och undersöka om denna fotosyntesundervisning, med fokus på fotosynteslitteracitet, kan transformera kraftfull fotosynteskunskap till elever inom den obligatoriska biologiundervisningen på högstadiet.

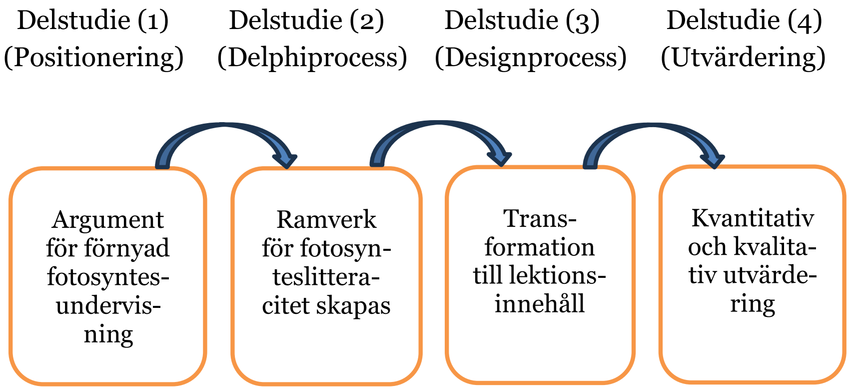
De fyra övergripande forskningsfrågorna är:

1. Hur kan en modell för fotosynteslitteracitet, utifrån de tre visionerna för naturvetenskaplig litteracitet, utvecklas med potential att generera kraftfull kunskap i fotosyntesundervisningen?
2. Hur kan ett ramverk för fotosynteslitteracitet preciseras utifrån föregående modell i specifika ämnesområden med tillhörande lärandemål för den obligatoriska biologiundervisningen?
3. Hur kan en undervisningsdesign utvecklas utifrån föregående ramverk för att främja fotosynteslitteracitet med potential att ge eleverna kraftfull fotosynteskunskap?
4. Vilka effekter har den föregående framtagna undervisningsdesignen på elevers fotosynteslitteracitet i jämförelse med en kontrollgrupp, samt identifiera vilka aspekter i undervisningsdesignen som kan ha bidragit till dessa effekter?

Varje fråga är kopplat till en av de fyra delstudierna, där resultaten från föregående studie ligger till grund för utformningen av nästa delstudie, i en kedja där transformationen från disciplinär kunskap till elevers förståelse i form av fotosynteslitteracitet kan följas i fyra steg.

Metod

Forskningsprocessen med de olika delstudierna representerar de olika transformationsstegen. Detta illustreras i Figur 2 från delstudie 1 till och med delstudie 4.



Figur 2. *Avhandlingens delstudieföljd med delresultat i transformationen som utgångspunkt för nästföljande delstudie.*

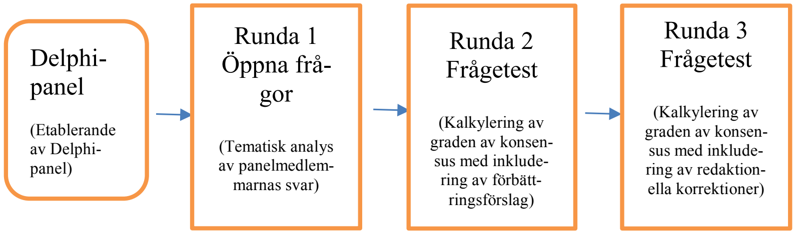
Figur 2 illustrerar således avhandlingens metodologiska arbetsgång som en transformationsprocess – från ett identifierat behov av förnyelse inom fotosyntesundervisning, via utveckling av ett ramverk för fotosynteslitteracitet, till utveckling och genomförande av en undervisningsdesign och slutligen dess utvärdering. Arbetsgången har följt en sekventiell struktur från vänster till höger i Figur 2. I delstudie 1 positioneras behovet av en uppdaterad undervisning genom argumentation och analys av tidigare forskning. Delstudie 2 utformade, med hjälp av en Delphi-panel, ett ramverk för fotosynteslitteracitet med tillhörande lärandemål för grundskolan. Detta ramverk låg till grund för utvecklingen av en undervisningsdesign i delstudie 3, vilka utarbetades i samarbete med två lärare genom tre iterativa undervisningsomgångar. Slutligen utvärderades undervisningsdesignen i delstudie 4 kvantitativt genom för- och eftertest, och jämförelser med kontrollgrupp samt kvalitativt genom observationer och elevintervjuer där målet var att utvärdera effektiviteten av undervisningsdesignen för utvecklandet av fotosynteslitteracitet och identifikation av vilka aspekter av undervisningsdesignen som skulle kunna förklara dess effektivitet.

Delstudie 1 består av en litteraturgenomgång med efterföljande analys och innehåller ingen empiri, vilket gör att den här inte behandlas vidare i metodbeskrivningen.

Framtagande av ämnesområden och lärandemål via Delphi-panel – Delstudie 2

I delstudie 2 togs konkretiserade ämnesområden och lärandemål fram för att definiera vad som utgör fotsynteslitteracitet. Framtagna ramverket användes senare för underlättande av kommande transformationer till fotosyntesundervisningsinnehåll. Transformationer från ämnesdisciplinärt kunskapsinnehåll till lämpligt undervisningsinnehåll behöver utföras i det första transformationssteget (Gericke, 2024).

Enligt Marques och de Freitas, (2018) är Delphi-metoden en passande metod för att utreda undervisningsrelaterade frågeställningar av denna art. I delstudie två utfördes därför en så kallad Delphi-studie, vars arbetsprocess åskådliggörs i Figur 3.



Figur 3. *Åskådliggörande av arbetsprocessen i delstudie 2.*

Delphimetoden går ut på att få ett framtidssyftande svar med konsensus kring en frågeställning. I denna delstudie var frågeställningen vad elever behöver kunna om fotosyntes och dess betydelse efter avslutad grundskola. En svarspanel bestående av professionellt insatta medlemmar med intresse av frågeställningen engageras i studien, vilket rekommenderas i metodlitteraturen (Avella, 2016). Delphimetoden är väl dokumenterad och används inom bland annat utbildningsvetenskap (Green, 2014; Marques & de Freitas, 2018).

Deltagarna i Delphi-panelen

Lämpliga presumtiva Delphi-paneldeltagare kontaktades via e-post. Detta utfördes genom att systematiskt kontakta olika högskolor och universitet i Sverige och svensktalande områden i Finland. Till hjälp fick jag också kontaktförslag via kontaktpersoner i Kungliga vetenskapsakademin. De tillfrågade informerades om projektet och hur processen var tänkt att gå till samt att de när som helst kunde avbryta deltagandet. Information gavs om att de var anonyma för varandra och i kommande forskningsartikel. Alla de ingående personerna i Delphi-panelen var, eller har varit, anställda inom svensktalande högskolor eller universitet. Huvuddelen av deltagarna i Delphi-panelen var eller hade varit verksamma som professorer. De två lägst utbildade var doktorander.

Det anses önskvärt att ha en heterogen sammansättning av deltagare i Delphi-panelen (Greatorex & Dexter, 2000). För att uppfylla heterogenitet i svarspanelen rekryterades deltagare från tre olika forskningsområden. Dessa områden var hållbarhetsfrågor, växtfysiologi och naturvetenskaplig ämnesdidaktik.

Totalt tillfrågades 83 personer om deltagande i Delphi-panelen. Andelen av de kontaktade som valde att delta var 35%. Initialt bestod svarspanelen av 29 personer inkluderande 15 kvinnor och 14 män. Dessa var fördelade till 12 ämnesdidaktiker, 9 växtfysiologer och 8 hållbarhetsexperter. Av dessa fullföljde 26 st. hela studien. Det vill säga knappt 90% följde hela Delphiprocessen som bestod av tre frågerundor.

Delphistudiens genomförande och analys

Tre öppna frågor gavs via e-post till paneldeltagarna i första rundan:

1. *I den nuvarande svenska läroplanen (Lgr 11) för grundskolan anges att; Fotosyntes och flödet av energi från solen genom naturen och samhället, är centrala mål att lära. Givet denna breda definition, varför anser du att kunskaper och förmågor i relation till fotosyntes är viktiga?*

2. *Baserat på fråga 1. Om betydelsen av fotosyntes, inom vilka områden inom naturen och samhället ska eleverna utveckla kunskaper och förmågor relaterade till fotosyntes? (Motivera ditt svar).*

3. *I relation till fotosyntes och dess betydelse för natur och samhälle, vilka specifika kunskaper och förmågor inom fotosyntesområdet behöver eleverna för att kunna fungera som aktiva medborgare bidragande till lösningar av framtidens utmaningar? (Motivera ditt svar).*

De inskickade svaren från panelmedlemmarna utgjorde sedan data för kvalitativ analys. Tematisk analys med vägledning av Braun och Clarke (2006) utfördes på svaren av de öppna frågorna från den första rundan i Delphistudien. 443 meningsbärande enheter identifierades. Från den tematiska analysen identifierades olika ämnesområden med tillhörande lärandemål. Ämnesområdena gavs rubriker och beskrevs. Till dessa formulerades tillhörande lärandemål. Lärandemålen med tillhörande beskrivningar utgjorde sedan den text som Delphi-panelen senare skulle få ta ställning till i nästa runda. Alla paneldeltagare var anonyma inför varandra under hela Delphi-processen.

Via Survey & Report (Artisan software, 2023) utfördes frågeenkäter i runda två och tre. En Likert-skala i fyra steg användes för att utröna hur stor andel av Delphi-panelen som höll med om de formulerade ämnesområdena med tillhörande lärandemål för viktig medborgarkunskap. Det gavs också möjlighet för deltagarna att förklara varför de ansåg ett ämnesområde eller lärandemål var lämpligt eller olämpligt samt om det borde omformuleras på något sätt.

Svaren i runda 2 analyserades kvantitativt, i form av medelvärden och standardavvikelser. Kvalitativt analyserades även de skriftliga kommentarerna från paneldeltagarna. Först diskuterades kommentarer av språkliga och layout-mässig karaktär. Därefter diskuterades innehållsliga framåtsyftande kommentarer. Revideringar gjordes i följande fall: 1. Flera paneldeltagare gjorde liknande kommentarer; 2. Styrkan i argumenteringen som fanns i paneldeltagarens kommentar. I de flesta fall följdes rekommendationerna från paneldeltagarna. En reviderad uppsättning ämnesområden med lärandemål konstruerades för att distribueras i runda tre.

Tredje rundan följde samma arbetsgång som runda två. I tillägg skickades personliga svar ut till de paneldeltagare som givit nya kommentarer med förklaringar till varför vi valt hantera deras kommentarer på ett visst sätt. Svaren efter runda tre närmade sig konsensus, då vi

erhållit hög konsensusgrad och stabilitet i svaren enligt våra tidigare uppsatta konsensusmål. Det vill säga medelvärde för lärandemål lika med eller över 3, vilket indikerar att genomsnittet av paneldeltagare instämmer, och standardavvikelse lika med eller under 1, vilket indikerar acceptabel spridning. Vi bestämde därför att avsluta Delphiprocessen. Efter att på detta sätt metodiskt tagit fram ämnesområden med tillhörande lärandemål för högstadiets fotosyntesundervisning presenterades dessa i ett ramverk som på engelska kallas photosynthesis literacy framework.

Validitet och tillförlitlighet i delstudie 2

För att säkerställa validiteten i delstudien var det viktigt att få en representativ Delphipanel. Panelen bestod av en heterogen grupp experter inom växtfysiologi, hållbarhet och naturvetenskaplig ämnesdidaktik, utvalda enligt rekommendationer från Hasson och Keeney (2011). Antalet deltagare inom de tre delområdena överstiger sju och understiger 15, vilket enligt Landeta och Lertxundi (2024) betraktade som lämpliga antal. Av 29 deltagare fullföljde 26 (90%) samtliga tre rundor, vilket är ett högt värde inom Delphi-metodik och tyder på starkt deltagarengagemang. En hög genomförandegrad minskar också risken för snedvridna resultat (Khodyakov et al., 2023).

Spridningen mätt som standardavvikelsen sattes till maximalt 1,0, vilket är en vedertagen metod enligt Taylor et al. (2020), för att få validitet i spridningsmåttet. Vid standardavvikelse över 1,0 anses ofta panelmedlemmarnas svar allt för spridda för att man ska kunna hävda att konsensus bland panelmedlemmarna uppnåtts (Taylor et al., 2020).

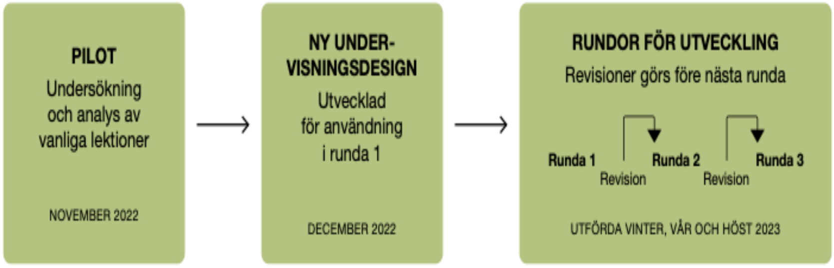
Utveckling av ny undervisningsdesign – Delstudie 3

I tredje delstudien var målet att transformera de i ramverket för fotosynteslitteracitet fastslagna ämnesområdena med tillhörande lärandemål till en lämplig fotosyntesundervisning. Att använda välgrundade undervisningsmål är väsentligt vid all transformation till undervisningsdesign (Osborne & Pimentel, 2023). Därför användes ramverket som systematiskt framtagits i delstudie 2 som vägledning för utvecklingsarbetet vid skapandet av undervisningsdesignen i delstudie 3. Metoden som valdes för utvecklandet av nya fotosyntesundervisningsdesignen kallas undervisningsdesignforskning (På engelska

Education Design Research, förkortat EDR). Denna designmetod är väl beskriven i litteraturen inom forskningsbaserad undervisningsutveckling och utförs i autentisk skolmiljön av forskare tillsammans med lärare (Van den Akker et al., 2006).

Platsen där den nya fotosyntesundervisningssekvensen utvecklades var en kommunal högstadieskola. Den ligger i ett mindre samhälle i västra Sverige. Skolan är den enda högstadieskolan i kommunen. Läget är centralt i samhället och skolan har knappt 400 elever som går i årskurserna sju till nio. Skolkommunen ligger i lägsta kvartilen i kommunalt grundskoleindex för riket (Sveriges Kommuner och Regioner, 2024). Indexeringen ges i förhållande till måluppfyllelse hos eleverna, tillgång till behöriga lärare, tillgång till elevstödjande funktioner såsom skolhälsovård, specialpedagogik och andra stödinsatser samt tillgänglighet av fritidshem.

De två biologilärarna som frivilligt engagerades i studien hade två och tre års lärarerfarenhet innan studien startades. Båda var behöriga lärare. Under ett första EDR-möte etablerades samarbetsteamet och procedurfrågor såsom rollfördelning, tidsramar och ansvarsfördelning klargjordes. EDR-studien kunde därefter genomföras i tre steg, se Figur 4.



Figur 4. *Delstudie 3 med dess tre huvudsakliga aktiviteter.*

Först utfördes intervjuer av lärarna om hur de såg på sin undervisning om fotosyntes. Därefter följde undertecknad en serie lektioner inom ekologiavsnittet i åk 7, där också fotosyntesundervisning ingick (ruta ett i Figur 4) i en pilotstudie. För att minska effekten av att ha en vuxen observatör med i undervisningen informerade lärarna i god tid de aktuella klasserna om att jag skulle komma och delta som

observatör av undervisningen. Eleverna vandes också vid min närvaro i skolan redan från pilotstudien.

I nästa steg (ruta två i Figur 4) utformades nya lektionsupplägg tillsammans med lärarna utifrån ramverket om fotosynteslitteracitet som togs fram i delstudie 1. Förslag till undervisningsdesign hämtades med inspiration från forskningslitteraturen och pilotstudien. Exempelvis användes Barker & Carr (1989b) och deras syn på generativt lärande och forskningshistoriska tillbakablickar enligt Métioui (2016). Även samhällsfrågor med naturvetenskapligt innehåll (SNI) och reviderad modellering från California Academy of Sciences, (n.d.) användes. Förslagen diskuterades och utvecklades i gruppen med lärarna för slutlig utformning. Teoretiskt vägledande vid diskussionerna inför första rundan var Klafkis fem steg för lektionsplanering (Klafki, 2006).

En undervisningsdesign bestående av 12 lektioner utvecklades initialt i första rundan, varefter antalet lektioner reducerades till 10 och finslipades senare i de två kommande rundorna (se ruta tre i Figur 4). Lärarna och en eller två elever i varje undervisningsgrupp intervjuades om hur de upplevt lektionerna efter varje runda. Dessutom deltog jag som observatör på lektionerna. Efter varje runda diskuterade lärarna och jag tillsammans utkomsten av lektionsrundan. Vid dessa tillfällen jämförde vi hur det blev med vad som utförts. Vi använde fortsatt Klafkis (2006) fem steg som kortfattat stöd vid de kommande planeringarna av följande lektionsrunda. Detta dataunderlag användes som underlag för revision av designen mellan rundorna. Gemensamma möten utfördes varje månad inför kommande lektioner. Efter att ha genomfört tredje omgången identifierades inga behov av revideringar varför designstudien avslutades.

Validitet och tillförlitlighet i delstudie 3

Tredje delstudien genomfördes i en kommunal högstadieskola. Att arbeta i en autentisk skolmiljö ger både fördelar och nackdelar för validiteten. Fördelen är ökad trovärdighet genom igenkänning av praktiska utmaningar. Nackdelen är begränsad generaliserbarhet på grund av skolmiljöns komplexitet och många okontrollerbara faktorer (Plomp, 2013).

Genom triangulering av de tre datakällorna lärarintervjuer, elevintervjuer och observationer kunde revideringar för utveckling av undervisningsdesignen göras från varje undervisningsomgång utifrån en valid metod. Träffarna med diskussioner som vi, lärarna och jag, genomförde efter varje omgång gav också en kontroll av att min samlade bild av intervjuer och observationer var likartad som lärarnas upplevelser av lektionsomgången. På detta sätt stärktes validiteten i utvecklingen av undervisningsdesignen (Plomp, 2013).

Utvärdering av undervisningsdesign – Delstudie 4

Elevernas kunskapsresultat efter deltagande i undervisningsdesignen i delstudie 3 utvärderas i delstudie 4. Datainsamlingen pågick parallellt med delstudie 3. Effektiviteten av undervisningsdesignen utvärderades med ett enkätinstrument samtidigt som aspekter av undervisningsdesignen som kan ha bidragit till elevernas lärande utforskades utifrån kvalitativa data hämtade från elevintervjuer och observationer.

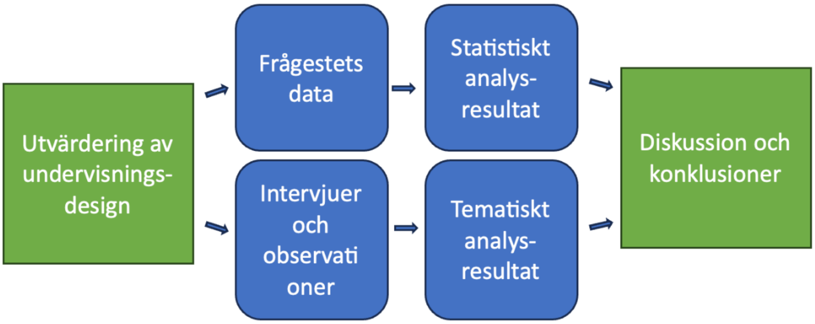
För utförandet av utvärderingen användes således både kvantitativa och kvalitativa metoder i en mixad metoddesign. Fördelen med en mixad metoddesign som forskningsdesign är att den kan ge en mer fullständig och djupgående förståelse av komplexa fenomen, såsom att undersöka effekterna av en ny undervisningsdesign (Robson & McCartan, 2016).

För den kvantitativa utvärderingen av undervisningsdesignens effekter på elevers lärande valdes en för- och eftertestmetod byggd utifrån kvasiexperimentell design med en icke-ekvivalent kontrollgrupp. Att genomföra en randomiserad kontrollerad studie i en verklig skolmiljö skulle innebära betydande utmaningar och valdes därför bort. Studien erbjuder dock en ekologisk validitet genom att den utförs i verklighetens praktikmiljö (Rogers & Cheung, 2019). Förfaringssättet ger därför vissa insikter om effektiviteten av undervisningsdesignen i jämförelse med traditionell undervisning om fotosyntes.

Experimentgrupp utgjordes av de elever som deltog i interventionen enligt undervisningsdesignen. Kontrollgruppen bestod av tre klasser från tre olika skolor. En av klasserna gick i samma skola som experimentgruppen. De två andra klasserna kom från något större kommuner med flera högstadieskolor. Skolkommunerna i dessa skolor

rankades enligt kommunalt grundskoleindex 2023 i bästa och näst bästa kvartilen (Sveriges Kommuner och Regioner, 2024). Alla i studien ingående skolor låg i geografiska Svealand. Biologilärarna i kontrollgruppen hade betydligt längre undervisningserfarenhet. De tre hade undervisat 24, 26 och 30 år på högstadiet och två av dem var förstelärare. Enkätdatainsamling gjordes i båda grupperna, medan intervju- och observationsdata samlades in endast i experimentgruppen.

För att stärka validitet och tillförlitlighet kompletterades den kvasiexperimentella designen med en kvalitativ analys av observations- och intervjudata i interventionsgruppen, se Figur 5. Genom att integrera kvantitativa och kvalitativa data i parallella och kompletterande faser kan varje metod kompensera för den andras begränsningar och bättre hantera komplexiteten i att utvärdera undervisningsdesigner (Ponce & Pagan-Maldonado, 2015).



Figur 5. *Arbetsgång i utvärdering av undervisningsdesign av fotosyntesundervisning.*

Effektiviteten av den i artikel tre framtagna undervisningsdesignenen för inlärning av fotosynteslitteracitet, såsom beskriven i artikel två, undersöktes kvantitativt med hjälp av ett utarbetat enkätinstrument. Enkätinstrumentet distribuerades även till kontrollgruppens tre ingående klasser som haft samma lektionsavsnitt i årskurs 7 om ekologi, där fotosyntes ingick som kunskapsinnehåll.

Enkätinstrumentet utformades med hjälp av en erfaren biologilärare, handledarna och undertecknad. Instrumentet utgjordes av ett flervalstest för mätande av hur väl lärandemålen i ramverket för fotosynteslitteracitet uppnåddes. Först utvecklades ett större batteri med

frågor länkade till ämnesområdena med tillhörande lärandemål som definierats i ramverket för fotosynteslitteracitet. Frågorna validerades först i en pilotstudie i årskurs 7, 8 och 9 vid olika skolor. Vissa frågor utgick och andra reviderades för att svarsalternativen skulle vara förståeliga av elever och fånga en variation av svårighetsgrader samtidigt som de skulle täcka de olika ämnesområdena med lärandemål i ramverket för fotosynteslitteracitet. Utifrån pilotstudie utvecklades den enkät som användes i huvudstudien. Enkäten distribuerades via länk till Survey & Report (Artisan Software, 2023) och besvarades anonymt. Frågeordningen följde den tematiska struktur som utvecklats i artikel två, vilket innebar att flervalsfrågorna presenterades i ordningen vision I, II och III.

Kvantitativa analyser av insamlade data genomfördes med hjälp av SPSS version 29. Förutom deskriptiv statistik jämfördes resultat från experiment- och kontrollgrupp med upprepad ANOVA. Multivariata testet Pillai´s Trace utfördes också med likande resultat. Även Mauchly´s test av sfärer utfördes för att kontrollera att korrektion av ANOVA-test inte var nödvändig (Field, 2013).

Den kvalitativa analysen genomfördes som en tematisk analys av elevintervjuer och observationsdata enligt metodik föreslagen av Brown och Clarke (2021).

Den kvantitativa analysen validerades genom att den kvalitativa analysen bidrog med förklaringsförslag till de kvantitativa effekter som identifierats i ANOVA-analysen av för- och eftertestdata, se Figur 5.

Validitet och tillförlitlighet i delstudie 4

Fjärde delstudien har en design av kvasiexperimentell karaktär som kvantitativt utvärderade interventionens effekt genom för- och eftertester i en experimentgrupp, jämfört med en kontrollgrupp som fått traditionell undervisning. Kvasiexperiment ger lägre validitet än en kontrollerad studie med slumpmässigt urval. Användningen av för- och eftertester bidrar dock till högre validitet (Kaya, 2015). Genom att studien genomfördes i autentisk skolmiljö med ekologisk validitet uppnås relativt hög extern validitet, även om resultaten inte är direkt generaliserbara beroende på skolors olikheter (Diehl et al., 2017).

Den kvalitativa delen av utvärderingen bestod av reflexiv tematisk analys (Braun & Clarke, 2021) av transkriberade intervjuer med frivilliga elever samt anteckningar från lektioner. Enligt Felder och Brent (2004) är elevsynpunkter och observationer valida källor för undervisningsutvärdering. Genom triangulering av olika kvalitativa data uppnåddes en holistisk integration i kvalitativa analysen som bidrar till hög validitet (Morgan, 2024). I slutskedet genomfördes även triangulering mellan kvantitativa och kvalitativa resultat för att undersöka att de genererade samstämmiga resultat.

Etiska överväganden

Alla delstudier har genomförts i enlighet med Vetenskapsrådets forskningsetiska principer inom humanistisk-samhällsvetenskaplig forskning med särskild hänsyn till informations-, samtyckes-, konfidentialitets- och nyttoprincipen (Vetenskapsrådet, 2017).

Innan datainsamlingar påbörjades inhämtades etiskt godkännande från etikgranskare inom Karlstad universitets fakultet för hälsa, natur- och teknikvetenskap (Diarienummer HNT 2022/602). Deltagarna i studierna inkluderar biologilärare samt elever under 15 år. Alla deltagare har informerats om studiens syfte, innehåll, hur data kommer att användas, samt att deltagandet är frivilligt och kan avbrytas när som helst utan negativa konsekvenser. Elevernas vårdnadshavare har också godkänt deltagande.

I ett inledningsskede övervägdes videoinspelningar av eleverna i klassrumsmiljön men av integritetsskäl valdes att inte spela in elever på video. Istället utfördes observationer av en forskare sittande längst bak i klassrummet.

All insamlad data har behandlats konfidentiellt och avidentifierats i analysen. Personuppgifter har hanterats i enlighet med gällande dataskyddslagstiftning (GDPR), och data har förvarats säkert enligt institutionens riktlinjer för forskningsdatahantering. Studien bedöms inte medföra någon risk för deltagarna och nyttan av forskningens bidrag till utveckling av fotosyntesundervisningen har vägts gentemot den minimala belastning deltagandet inneburit.

Resultat

Här presenteras resultatet från delstudierna gällande de övergripande forskningsfrågorna. Resultaten presenteras på olika sätt beroende på delstudiernas olikheter och avslutas med en kort helhetssammanfattning.

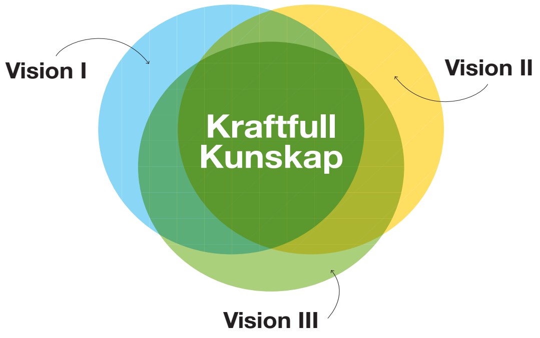
Delstudie 1 – Positionering för kraftfull fotosynteskunskap

I positioneringsartiklar inom didaktik, som den första delstudien i avhandlingen är ett exempel på, tar författaren tydlig ställning i en fråga som rör undervisning och lärande inom ett specifikt ämnesområde (Felix & Ali, 2023). Syftet med delstudien var att undersöka vilken typ av fotosynteslitteracitet eller naturvetenskaplig allmänbildning fotosyntesundervisningen bör sträva efter för att adressera de problem som togs upp i Bakgrunden. Delstudien adresserar följande forskningsfråga. Hur kan en modell för fotosynteslitteracitet, utifrån de olika visionerna för naturvetenskaplig litteracitet, utvecklas med potential att generera kraftfull kunskap i fotosyntesundervisningen?

I delstudien argumenterar jag för att naturvetenskaplig litteracitet och de tre visionerna tillsammans bör utgöra grund för fotosyntesundervisningen. Skälet till detta val har argumenterats för tidigare under avsnittet Teoretisk bakgrund, och beror på min utgångspunkt att de tre visionerna i kombination i undervisningen ökar möjligheterna för elever att utveckla kraftfull kunskap inom fotosyntesområdet. Delstudien genererar en modell som illustrerar hur de tre visionerna samverkar för att möjliggöra denna kraftfulla kunskap, se Figur 6. Den överlappande mörkgröna delen i Figur 6 representerar kraftfull kunskap, vilket i avhandlingens sammanhang syftar på fördjupade och användbara kunskaper i fotosyntes utifrån flera olika perspektiv.

Vision I bidrar med de mest reliabla kunskaperna som ämnesdisciplinen erbjuder om fotosyntesprocessen och dess biokemiska kopplingar. Utan dessa riskerar undervisningen att ske i utifrån relativistiska utgångspunkter där vetenskapliga objektiva kunskaper inte urskiljs. Vision II tillför kunskaper om fotosyntes som är relevanta i vardagslivet, särskilt i relation till hållbarhetsfrågor som berör alla medborgare i ett demokratiskt samhälle. Detta perspektiv tillför kontext och relevans som är centralt för att undervisningen om fotosyntes

skall upplevas meningsfull. Vision III bidrar med agens och handlingskompetens, vilket gör det möjligt för individen att påverka både sina egna och samhälleliga beslut i frågor som rör fotosyntesens betydelse för naturen, människan och samhället. När dessa tre komponenter samverkar finns förutsättningar för att kraftfull fotosynteskunskap etablerats.



Figur 6. *Modell för kraftfull kunskap i relation till naturvetenskaplig litteracitet och dess visioner.*

Delstudie 2 – Delphistudies framtagande av ramverk

I delstudie 2 följs första delstudien upp i nästa steg i transformationen. Delstudie 2 undersöker således forskningsfrågan hur ett ramverk för fotosynteslitteracitet kan preciseras utifrån föregående modell i specifika ämnesområden och lärandemål anpassade för den obligatoriska biologiundervisningen. Detta genomförs med hjälp av en Delphi-studie. Delstudien resulterade i 25 ämnesområden med lärandemål som tillsammans utgör ett ramverk för vad elever bör lära sig om fotosyntes och dess breda betydelse för både natur, hållbarhet och samhällsliv. Ämnesområdena och lärandemålen är insorterade under de fyra temana som presenteras i tabell 1.

Tabell 1. *Ramverket för fotosynteslitteracitet relaterat till de tre litteracitetsvisionerna.*

Litteracitetsvisioner	Tema
Vision I	A. Fotosyntes som ett naturvetenskapligt fenomen B. Fotosyntes som en drivande kraft i biologiska och geologiska processer och cykler
Vision II	C. Fotosyntes och dess betydelse för hållbarhetsfrågor
Vision III	D. Fotosyntes från ett samhällsperspektiv

Genom att eleverna får fotosyntesundervisning kopplad till dessa ämnesområden kan eleverna erhålla en bred fotosynteslitteracitet genom att den utgår från alla tre litteracitetsvisionerna. På det sättet kan också intresse och engagemang komma öka för fotosyntesen som kunskapsområde via större möjligheter till av eleverna uppfattad relevans. Ramverket för fotosynteslitteracitet är därmed tänkt att underlätta generering av den kraftfulla kunskap som krävs för att utveckla en medborgarkunskap om fotosyntes. För en detaljerad översikt över samtliga ämnesområden med lärandemål, se tabell 2 i artikel 1. Dessa utgör de huvudsakliga resultaten i delstudie 2.

Delstudie 3 – Undervisningsdesign för fotosyntesundervisning

I delstudie 3 fullföljdes ytterligare ett steg i transformationsprocessen då ramverket för fotosynteslitteracitet låg till grund för utvecklandet av en undervisningsdesign. Delstudie 3 besvarar forskningsfrågan hur en undervisningsdesign kan utvecklas utifrån föregående ramverk för att främja fotosynteslitteracitet med potential att ge eleverna kraftfull fotosynteskunskap. Delstudiens designprocess genomfördes i omgångar tillsammans i partnerskap med två lärare i en högstadieskola. Designutvecklandet genomfördes inom ramen för ekologiavsnittet i biologiundervisningen inom årskurs 7.

Utvecklandet resulterade i en bred undervisningsvariation med olika elevaktiva arbetssätt inkluderandes exempelvis exkursion med olika

uppgifter, modellering, elevdiskussioner, experiment, odling, argumentationsövningar och kopplingar till närliggande näringsliv. Dessa arbetssätt uppgavs som intressant och givande enligt utvärderingsinformation från elever och lärare. Lärarna upplevde också att lektionsanpassningarna till lokala förhållanden gav en ökad elevmotivation för ämnesinnehållet vilket även observationerna bekräftade.

En undervisningsdesign omfattandes en serie om 10 lektioner med avsikten att transformera ramverkets innehåll utgjorde den färdigutvecklade forskningsdesignen. I bilaga 2 (supplementary 2) till artikel 3 i avhandlingen beskrivs dessa tio lektioner mera i detalj med information i fyra kolumner om:

- Vilka ämnesområden med tillhörande lärandemål från ramverket som lektionen behandlar.
- Lektionsinnehåll med elevaktiviteter.
- Nödvändig materiel för lektionernas genomförande.
- Lärarens förberedelsebehov.

I tabell 2 presenteras en kortare version av den slutgiltigt resulterande undervisningsdesignens lektioner.

,

Tabell 2. *Undervisningsdesign med lektioner för transformation av ramverket för fotosynteslitteracitet.*

Nr.	Lektionsrubrik	Lektionsinnehåll
1	Skogsexkursion	Åldersbestämning av träd via grenvarvsräkning. Mindfulnessvandring, podsolprofil och temperaturmätningar.
2	Historisk genomgång	Genomgång av synen på hur biomassa bildas via Aristoteles och Van Helmonts försök samt start av kryddväxtodling i klassrum.
3	Modellering av fotosyntesprocess	Kort genomgång av modern syn på fotosyntes. Utförande av en modellering av fotosyntesprocessen i klassrummet.
4	Fotosyntesens roll i kolets kretslopp	Gruppuppgift beskriva hur biomassa i träd bildas. Genomgång av kolets kretslopp, ekosystem och dess tjänster.
5	Näringskedjor och näringsvävar	Genomgång av näringskedjor och näringsvävar. Elevuppgifter med skapande av tänkbara näringskedjor på land och i vatten. Fotosyntesens roll diskuteras.
6	Glasinneslutet ekosystem som modellering	Kretsloppsgenomgångar och studier av glasinneslutna ekosystemet. Diskussioner om framtida vikt av glaskärlet samt vägning av detsamma.
7	Begreppskartor	Eleverna konstruerar individuella begreppskartor som sedan jämförs och samtalas om med bänkgranne.
8	Argumentation	Olika elevgrupper sätts samman att fundera ut och diskutera argument för och emot olika individbeslut som länkar fotosyntes till hållbarhets- och samhällsfrågor.
9	Lokala företag	Faktablad om näraliggande företag delas ut. Eleverna får diskutera dessa företags olika beroende av fotosyntes
10	Sammanfattning och utvärdering	Repetition via frågesport. Både individuellt och i grupper. Skörd av växtodling.

Delstudie 4 – Utvärdering av undervisningsdesignens effektivitet

I delstudie 4 utvärderas om den transformerade undervisningsdesignen som framtagits i delstudie 3 verkligen gav de positiva effekter som avsågs i designen på elevers lärande. Delstudie 4 besvarar därmed vilka effekter den föregående framtagna undervisningsdesignen har på elevers fotosynteslitteracitet i jämförelse med en kontrollgrupp, samt identifierar vilka aspekter i undervisningsdesignen som kan ha bidragit till dessa effekter. Resultaten delas därför upp i två delar. Först presenteras de kvantitativa resultaten för att besvara första delen av frågan, som sedan följas av kvalitativa resultaten som adresserar den andra delen av frågan.

De kvantitativa resultaten visar att experimentgruppen överlag uppvisar signifikant högre kunskapsresultat gällande fotosynteslitteracitet jämfört med kontrollgruppen, se tabell 3. Signifikanta skillnader erhölls även för tema A och B. Dessa teman utgör vision I. Störst effektstorlek uppmättes i den sammanslagna totala analysen. I jämförelse med kontrollgruppen var positiva effekten av experimentgruppens resultat kategoriserad som mindre för tema C och tema D. Dessa teman relaterade till vision II respektive vision III.

Om man ser till förbättringar i experimentgruppen enbart över tid, utan att jämföra med kontrollgruppens resultat, så fanns även signifikant förbättring i tema C kopplat till vision III. Kontrollgruppen visade över tid inga signifikanta förändringar varken totalt eller för något tema. Det fanns heller inga signifikanta skillnader mellan experiment- och kontrollgrupp gällande förtestestets resultat.

Omgång 2 och 3 i utvecklingen av undervisningsdesignen presterade större effekter än omgång 1 men inga signifikanta skillnader dem emellan noterades. Vad gäller enstaka frågor länkade till specifika lärandemål kan man hitta stor ökning av förståelse framförallt kopplat till vision I, exempelvis gällande ämnesområde B4 (Se tabell 2 i delstudie 2), att kolhydrater bildade under fotosyntes kan bilda växtbiomassa.

Tabell 3. *Experimentgrupp och kontrollgrupp. Analys av inomindividuella skillnader (Repeated Measures ANOVA).*

	F	***p***	**Partiell η^2**
Tema A			
Tid x Grupp	5.272	**0.024**	0.047
Tema B			
Tid x Grupp	5.968	**0.016**	0.052
Tema C			
Tid x Grupp	0.786	0.377	0.007
Tema D			
Tid x Grupp	0.719	0.398	0.007
Totalt alla teman			
Tid x Grupp	6.242	**0.014**	0.055

Notering: Variablerna "Tid" och "Grupp" refererar till interaktionseffekt i för- och eftertest data. Tema A (Fotosyntes från ett vetenskapligt perspektiv), Tema B (Fotosyntes som drivkraft i biologiska och geologiska processer och cykler), Tema C (Fotosyntesen och dess betydelse för hållbarhet), Tema D (Fotosyntes i ett samhällsperspektiv). Totalvärden för alla fyra tema tillsammans. Signifikanta p-värden ($\alpha<0.05$) markerade i fet stil. Experimentgrupp ($n = 71$) och Kontrollgrupp ($n = 39$).

De kvalitativa resultaten från delstudie 4 visar överlag att eleverna uppskattat undervisningen och att den skapat engagemang för att lära om fotosyntesen. Resultaten visar att eleverna ansåg sig ha lärt sig mycket och att undervisningen varit intressant och givande. Anledningen till att eleverna uppskattat undervisningen uppgavs vara de många elevaktiva inslag såsom exkursionen, modelleringen av fotosyntesprocessen, odlingen och annat där de fick engagera sig och hade agens i under lärprocessen. En elev uttrycket det som att: ”När jag gör något praktiskt så lär jag mig också bättre och kommer ihåg”. Även att få argumentera för eller emot olika handlingsalternativ samt diskutera och se kopplingarna mellan fotosyntes och lokalt näringsliv sågs som givande. Utifrån detta visade den tematiska analysen att *autentiska upplevelser* givit ett ökat intresse och en annan syn på växter än tidigare hos eleverna. Upplevelserna har bidragit till *fascination och förundran*. *Elevaktiva arbetssätt* med undersökande arbete i undervisningen gav eleverna engagemang och positiva attityder till lärande av kunskapsinnehållet, vilket visades både från intervjuer och direkt från lektionsobservationer. *Kollaborativt arbete* kring

frågeställningar upplevdes också givande för att ge olika perspektiv på frågorna.

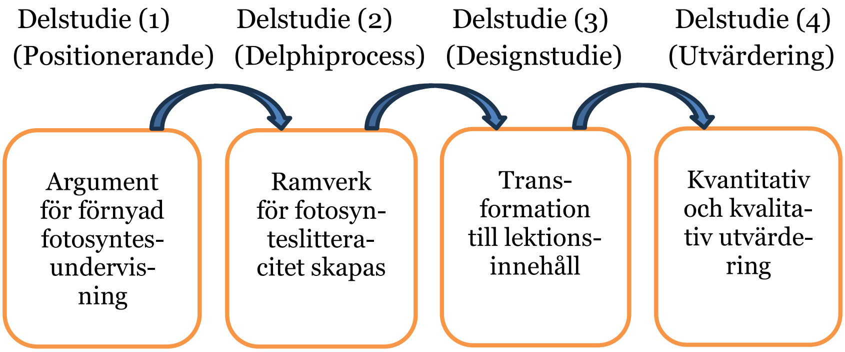
Sammantaget visar de kvantitativa och kvalitativa resultaten i delstudie 4 att den nya designen med experimentgruppen var effektiv i att utveckla elevernas fotosynteslitteracitet. Aspekter av den framtagna undervisningsdesignen som enligt den tematiska analysen kan förklara det positiva resultatet jämfört med kontrollgrupp var ökat engagemang bland eleverna via: *autentiska upplevelser, fascination och förundran, elevaktivt undervisningssätt* och *kollaborativt arbete*.

Sammanfattande helhetsresultat

De fyra delstudierna utgör tillsammans ett exempel på hur ett ämnesdisciplinärt område, i detta fall fotosyntes, kan transformeras till en undervisning som stärker elevernas möjligheter att utveckla en kraftfull kunskap inom området. Det ämnesdisciplinära kunskapsinnehållet har transformerats i flera steg utifrån syftet att få med de viktigaste lärandemålen och kontextualisera ämnesinnehållet för att öka relevansen och lust till att lära. Transformationsprocessen har genomförts dels utifrån de problemställningar som identifierats i forskningslitteraturen, dels utifrån expertkunskaper genererade från Delphi-studien, och framförallt genom ett samarbete mellan forskare och yrkesverksamma lärare i en designprocess utvecklandes en fungerande undervisningsdesign.

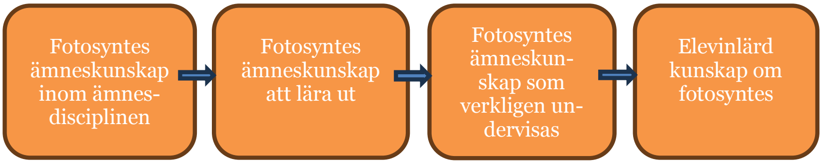
Diskussion

Avhandlingen tar ett helhetsgrepp på fotosyntesundervisning i den obligatoriska biologiundervisningen på grundskolan med utgångspunkt från dess identifierade brister via en breddning av synen på naturvetenskaplig litteracitet och kraftfull kunskap, se steg (1) i Figur 7. Därefter identifierades specificerade ämnesområden med ingående ämnesområden och tillhörande lärandemål för fotosyntesen som integrerades i ett ramverk för fotosynteslitteracitet, se steg (2) i Figur 7. Ramverket låg sedan till grund för och transformerades till en nyskapad undervisningsdesign för etablerande av fotosynteslitteracitet, se steg (3) i Figur 7. Utvärdering av undervisningsdesignens visade sedan att designen var signifikant effektivare gällande att utveckla elevers fotosynteslitteracitet jämfört med traditionell fotosyntesundervisning, se steg (4) i Figur 7.



Figur 7. *Delstudieföljd i transformationen med innehåll för varje steg.*

Avhandlingens forskningsprocess har på detta sätt följt de ursprungliga forskningstankegångarna för transformation av kunskap från ämnesdisciplinen till kunskaper hos eleverna, framtagen av Chevallard (1985), utvecklad via Bosch et al., (2005) och Gericke (2009), och funnit sin slutliga form i transformationsbegreppet i empirisk ämnesdidaktisk forskning (Gericke et al., 2018). Den specifika transformationen i denna studie visualiseras i Figur 8.



Figur 8. *Forskningssekvens för didaktisk transformation av fotosynteskunskaper.*

Diskussionen innehåller först en sammanfattande del av de fyra olika delstudiernas egna bidrag till svar på avhandlingens forskningsfrågor. Följt av en mera detaljerad diskussion om hur den framtagna undervisningsdesignen kan ha ökat relevansen för eleverna och bidragit till att elevernas svårigheter med komplexiteten i fotosyntesundervisningen relaterat till olika biologiska organisationsnivåer och missuppfattningar. Detta följs av resonemang om möjliga anledningar till hur undervisningsdesignens lektionsinnehåll kan ha gett upphov till den signifikant förbättrade fotosynteslitteraciteten hos experimentgruppens elever. Avslutningsvis tas begränsningar, avhandlingens bidrag samt framtida forskningsbehov upp.

Delstudie 1 – Betydelsen av breddad fotosyntesundervisning

Positioneringsstudien besvarar första övergripande forskningsfrågan om vilken typ av litteracitet fotosyntesundervisningen som bör förmedlas i biologiundervisningen. Studien lyfter behovet av en förnyad undervisningspraktik som integrerar naturvetenskaplig litteracitet enligt visionerna I, II och III. Ett balanserat innehåll av dessa visioner inom fotosyntesundervisningen kan, enligt studiens resonemang, främja utvecklingen av kraftfull kunskap hos eleverna om fotosyntesen och dess betydelse för både natur och samhälle.

Den grundläggande idén om att bredda fokus i fotosyntesundervisningen till att även omfatta dess kontextuella betydelse för naturen, hållbarhetsfrågor och samhällslivet har i denna avhandling visat sig vara framgångsrik, särskilt vad gäller att främja kunskaper kopplade till vision I, se diskussion under delstudie 4. En möjlig förklaring till detta är att eleverna har uppfattat ämnets relevans, vilket i sin tur har ökat deras engagemang och motivation för lärande. Detta har möjliggjorts genom att eftersökta behov av kontextuell breddning och konkretiseringar som relaterar till samtida behov har uppfyllts (Barzilai &

Chinn, 2017; Murayama & von Keyserlingk, 2025; Skribe Dimec & Strgar, 2017). I kombination med fotosyntesens roll i de hållbarhetsutmaningar som Janssen et al. (2014) lyfter fram, har elevernas upplevda relevans sannolikt förstärkts, vilket har gynnat deras utveckling av fotosynteslitteracitet och därmed bidragit till kraftfull fotosynteskunskap.

Delstudie 2 – Skapande av ett ramverk för fotosynteslitteracitet

Delphistudien besvarar den andra övergripande forskningsfrågan genom att via frågeomgångar till en expertpanel, med relevanta fotosynteskunskaper från olika kunskapsområden, skapa ett ramverk för fotosynteslitteracitet. Det framtagna ramverket preciserar vilka ämnesområden och lärandemål som sammantaget utgör den kraftfulla fotosynteskunskapen som den obligatoriska biologiundervisningen bör sträva mot.

Fotosynteslitteracitet vision I innehåller både begreppskunskap gällande själva fotosyntesprocessen (Tema A) och dess biologiska och geologiska kopplingar till omgivningen (Tema B). Fotosynteslitteracitet vision II kopplar till hållbarhet och annan indirekt fotosyntesbetydelse (Tema C) samt fotosynteslitteracitet vision III till fotosyntesens olika samhällsbetydelser (Tema D).

Tema A och B, som förknippas med vision I kunskaper, är värdefulla för korrigeringar av missuppfattningar. Exempelvis ämnesområde A7 (se tabell 2 i artikel 2) är nödvändig kunskap för att avhjälpa missuppfattningen om att fotosyntes bara kan ske i blad och B4 (se tabell 2 i artikel 2) kunskap är nödvändig för att förstå att biomassa skapas under fotosyntesprocessen. För etablerande av uppfattningar mera i linje med vetenskaplig syn är arbetssätt förknippade med Vision I mera lämpliga. Arbetsformer som inkluderar hypotestestande, objektiva mätningar, modellering och resonerandeförmåga är i det avseendet betydelsefulla (Sjöström & Eilks, 2018; Vosniadou, 2020).

Tema C, som förknippas med vision II kunskaper, innehåller ämnesområden förknippade med vad elever möter eller kommer möta i vardagslivet gällande kopplingar till fotosyntes såsom exempelvis C3 (se tabell 2 i artikel 2) om matproduktion. Fotosyntesens koppling till vad vi äter är ett exempel på underlättande av tidigare beskrivna relevansproblem i fotosyntesundervisning. Underlättande av relevans via

vision II undervisning påtalas exempelvis av Dauer et al. (2025) och Haglund och Hultén (2017).

Tema D, som förknippas med vision III, innehåller ämnesområden med utgångspunkt av mera bildande kunskaper (Sjöström & Eilks, 2018) med konsekvenser för framtiden, såsom exempelvis D2 (se tabell 2 i artikel 2) om hur kunskaper om fotosyntesens betydelse kan vägleda beslut och agens för en bättre framtid (Sjöström & Eilks, 2018).

Generellt sett så bidrar också specifikation av ämnesområden med-tydliga lärandemål till bättre transformationer vilket ger lämpligare undervisningsinnehåll (Osborne & Pimentel, 2023).

Delstudie 3 – Utvecklande av en fotosyntesundervisningsdesign

Designstudien besvarar tredje övergripande forskningsfrågan via utarbetande av en ny undervisningsdesign med nya lektionsupplägg. De framtagna lektionerna avser transformera ramverkets ämnesområden och lärandemål till förbättrat lektionsinnehåll med avseende på förbättrade fotosynteskunskaper. En av grundtankarna bakom undervisningsdesignen var att via elevernas egna upplevelser få tillgång till ett sammanhang och upplevelsebas under lärprocessen. Något i livsvärlden att hänga upp de annars abstrakta delarna i fotosyntesen på och samtidigt väcka nyfikenhet och intresse (Kong, 2021). Förhoppningen var att eleverna via detta förfarande skulle uppleva fotosyntesundervisningen mindre svårtillgänglig och minska svårigheterna med det abstrakta innehållet i undervisningen (Jančaříková & Jančařík, 2022; Matthews, 2009; Skribe Dimec & Strgar, 2017).

Första lektionen i designen bestämdes därför till att bli en skogsexkursion med upplevelsefokus. Upplevelseerfarenheterna eleverna fick genom uppgifterna under exkursionen var nya för eleverna. Tanken var, såsom också Carlgren (2020) påpekat, att det behövs nya kraftfulla sätt att tillägna sig kunskap. Elevernas upplevda erfarenheter från exkursionen blev på detta sätt en grund för deras utveckling av intresse för fotosynteskunskaper. Lärarna kunde tack vare exkursionen under senare lektioner vid relevanta tillfällen ge återkopplingar till vad eleverna upplevt under det första lektionstillfällets uppgifter utförda i skogen.

Vision II och III litteracitet utvecklades mestadels i de senare lektionerna i undervisningsdesignen via argumentationsövningar och samhällsfrågor med naturvetenskapligt innehåll (Sjöström, 2025), så som uppgifter kring lokala företags beroende av fotosyntes. Engagemanget var stort även i dessa moment.

Delstudie 4 – Positiva effekter av en breddad fotosyntesundervisning

Utvärderingsstudien besvarar den fjärde övergripande forskningsfrågan om utvärdering av den i delstudie 3 framtagna undervisningsdesignen. Orsaker till att den kvantitativa effektstudien visar en signifikant förbättrad fotosynteslitteracitet för experimentgruppen jämfört med kontrollgruppen kan vara de aspekter i undervisningsdesignen som kvalitativa utvärderingen tog fram. Det vill säga autentiska upplevelser, elevaktiva arbetssätt, förundran och fascination samt kollaborativt arbete. Vikten av sådana inslag har också påpekats av Cimer (2012).

Elevuppskattningen av konkretiserande praktiska elevaktiva inslag styrks också av Jančaříková och Jančařík (2022), som menar att eleverna ofta upplever att fotosyntesundervisningen vanligtvis vara för abstrakt. Enligt Hrach (2021) är det som eleverna menar med uttrycket "praktiska inslag", sinnliga och kroppsligt förankrade upplevelser. Hon menar att fysisk rörelse, sensorisk stimulans och autentiska miljöer stärker lärande och engagemang hos uppväxande ännu ej vuxna elever. Resonemanget bygger på teorier om förkroppsligad kognition, vilket enligt Osgood-Campbell (2015) handlar om kopplingen mellan hjärnan, kroppen och den fysiska miljön.

Undervisningsdesignen innehåller många möjligheter till autentiska upplevelser och elevaktiva arbetssätt. Elevcentrerad undervisning kan på detta sätt öka motivationen för lärande av naturvetenskap (Kang & Keinonen, 2018). Tanken bakom dessa inslag var att göra eleverna involverade och nyfikna på fotosyntesen via att uppleva växter, träd och ekosystem så att de skulle vara tillräckligt intresserade av de teoretiska lärargenomgångarna och kollaborativa uppgifterna som krävs för en såväl djupare som bredare förståelse av fotosyntesen och dess betydelse.

Störst effekter i undervisningsdesignen visade sig i resultaten kopplade till fotosynteslitteracitet vision I, följd av lite mindre effekter i vision II och än mindre för vision III. Orsakerna till det kan bara spekuleras över men eftersom färre antal lektioner relaterade till dessa de två senare visionerna, och de kom i ett senare skede av undervisningsdesignen är detta en trolig förklaringsmodell. Upplägget med historiska utvecklingen av kunskaper om fotosyntes som föreslagits av Métioui et al. (2016) och utförts i lektion 2 till 4 kan ha underlättat tänkandet kring vision I kunskaper. Mätning av vision II och III kunskaper kan också vara svårare rent tekniskt (Dauer et al., 2025). Viktigt att påpeka är att hela undervisningsdesignen visade sig ha signifikant ($p= 0{,}014$) bättre resultat än kontrollgruppen med effektstyrkan (partial $\eta^2=0{,}055$).

Det bättre resultatet i experimentgruppen visar att forskningsupplägget har varit framgångsrikt. Genom att identifiera ett grundläggande behov av fotosynteslitteracitet och rikta undervisningen brett mot de tre visionerna för kraftfull fotosynteskunnighet, har en effektiv transformation möjliggjorts. Den utvecklade undervisningsdesignen har därmed visat sig vara ett verkningsfullt transformationsverktyg för att utveckla elevers fotosynteslitteracitet.

Hanterande av komplexitet och biologiska organisationsnivåer

Transformation av fotosynteskunskaper till faktisk förståelse hos elever stöter på olika problem. Såsom påtalats i bakgrundsdelen så uppfattas fotosyntesundervisningen ofta som komplex och abstrakt (Jančaříková & Jančařík, 2022; Karakaya et al., 2021; Näs, 2010). Dessutom rör sig undervisningen mellan olika biologiska organisationsnivåer, vilket kan uppfattas förvirrande (Jančaříková & Jančařík, 2022).

Genom att låta eleverna från start delta fotosyntesundervisningen via upplevelser av skog, växter och ekosystem och tilldela dem uppgifter som leder in tänkandet i sökande efter förståelse av hur biomassan i träd skapas så har eleverna blivit förberedda för den kontext som själva fotosyntesprocessen kopplar till. Konkretiseringar såsom eftersökts av Jančaříková och Jančařík (2022) och Näs (2010) har utförts via exkursionsinnehåll, odling, modellering av fotosyntesprocessen och glasinneslutet konstruerat litet iakttagbart ekosystem, se tabell 2 i resultatdelen. Dessa inslag har också bidragit till underlättande för

elevernas förståelse genom upplevda autentiska kroppsliga och sinnliga upplevelser. När sedan eleverna också fått argumentera för olika beslutsfattanden och diskuterat lokala företags beroende av fotosyntes så har de haft möjlighet att återkoppla till tidigare lektionsundervisning om själva fotosyntesprocessen till relevanta sammanhang, vilket påtalats viktigt i litteraturen (Östman & Lundqvist, 2014).

De olika biologiska organisationsnivåerna kan också utgöra ett komplicerande problem då eleverna kan ha svårigheter med att förflytta sig mellan dem (Schwartz & Brown, 2012).

Hanterande av missuppfattningar i fotosyntesundervisning

Ett annat skäl till förbättringarna i vision I kunskaperna hos eleverna som deltog i undervisningsdesignen kan bero på att designen reducerade vanliga missuppfattningar om fotosyntesen. Då vi utifrån litteraturen uppfattade att den allvarligaste missuppfattningen kopplat till fotosyntes är tron att den huvudsakliga biomassan i träd kommer från partiklar upptagna av rötterna (Marmaroti & Galanopoulou, 2006; Mohammed & Abell, 2022), så lades extra stort fokus på detta i utvecklingen av designen. Vi började med exkursionens grenvarvsräknande för att se att träden växt på höjden, se tabell 2. För att sedan med inspiration av Métioui et al. (2016) gå igenom historiska synen på hur träd bildar biomassa från Aristoteles tid via Van Helmonts trädodlingsförsök, vidare till att eleverna själva i smågrupper fick fundera på hur det kan gå till.

För riktande av elevfokus så besvarade eleverna problemuppgifter om hur de tror biomassan skapas både före och efter modellering av själva fotosyntesprocessen, se tabell 2. Testfrågorna som mäter förståelsen av detta visar att experimentgruppen har halverat sina missuppfattningar kring hur biomassan bildas i växter medan kontrollgruppens missuppfattning om biomassans uppkomst inte påverkats nämnvärt av undervisningen, se artikel 4.

En överväldigande majoritet av eleverna hade missuppfattning om kretslopp. Detta upptäcktes när läraren frågade om vad de trodde skulle ske med vikten av glasinneslutet ekosystem i lektion 6, se tabell 2. De trodde massan av kärlet skulle öka beroende på att växterna växte inuti kärlet. Problem med materiens konstans och fotosyntesens roll för förståelsen av kolets kretslopp har också påtalats av Hartley et

al. (2011). Därför beslöt vi att lärarna tillsammans med eleverna skulle väga glaskärlet varje vecka under undervisningsperioden.

Eleverna utsattes kommande veckor, via upprepade vägningar, för upptäckten att massan till de flestas förvåning förblev konstant trots att växterna synligt hade växt. Dessa elever utsattes på detta sätt för kognitiv dissonans (Köpeczi-Bócz, 2025). Så småningom övergav de uppfattningen att massan skulle öka. Det räckte inte för alla med en mätning för att alla elever skulle överge missuppfattningen, utan det tog ett par veckor med mätningar för att alla helt skulle släppa missuppfattningen. En kommentar från en elev som vid senare vägning förstod att hon tidigare haft en missuppfattning hjälpte de andra med förklaringen: ”Inget kan ju varken komma in eller ut ur glaskärlet. Därför måste vikten bli densamma.”

För korrektion av missuppfattningen krävdes såsom Jančaříková och Jančařík (2022) påpekat återkoppling och en djupare mera epistemisk inlärning, såsom i detta fall upprepade mätningar med engagerade diskussioner om vad resultatet tyder på. Efter att ha förstått att inget kan komma in eller ut ur glaskärlet blev det enklare för eleverna att förstå lärarens genomgång av fotosyntesens roll i kolets kretslopp såväl lokalt inuti glaskärlet som i ett stort globalt sammanhang med hela planeten.

Detta exempel visar också på hur en positivistisk ansats, enligt vision I, med mätningar och observationer kan korrigera missuppfattningar. Eleverna som i första skedet tillsammans i klassrummet socialkonstruktivistiskt engagerat diskuterade (enligt vision II och III) vad som skulle komma att ske med vikten övertygade varandra om missuppfattningen att massan i kärlet skulle öka. De menade att massan i kärlet skulle öka i takt med växternas växande. Socialkonstruktivistiskt arbetssätt visar sig alltså såsom Bernstein (1990) förutsett därför inte alltid vara lämpligt för att öka kunskapen hos eleverna trots ett högt engagemang. Istället, tack vare objektiva mätningar av glaskärlets massa övergavs slutligen missuppfattningen att vikten skulle öka.

Ökat engagemang, intresse och motivation för fotosyntes

Eleverna visade under lektionerna större engagemang än vanligt i undervisningen enligt båda undervisande lärare och eleverna i intervjuerna. Mina observationer under lektionerna styrker också att

eleverna visat ett stort engagemang. Engagemang är också enligt Abla och Fraumeni (2019) det observerbara beteendet som visar att inre motivation finns hos eleverna.

Bidragande till ökat engagemang och intresse kan vara undervisningsdesignens inriktning på att öka relevansen för eleverna genom att ta upp kopplingar till deras vardagsliv och använda konkretiserande inslag utifrån hållbarhets- och samhällsfrågor. Detta ligger också i linje med vad elever i Cimer (2012) ansett som underlättande metodik för ökad förståelse generellt inom biologiundervisning.

Lektion 8 och 9 i undervisningsdesignen, se tabell 2, innehållande argumentationsövningar och diskussioner runt lokala företags beroende av fotosyntes engagerade eleverna och upplevdes av dem också som intressanta. Detta bekräftar att samhällsfrågor med naturvetenskapligt innehåll (SNI) har en god effekt för ökat engagemang och intresse såsom påtalats av exempelvis Badeo och Duque (2022). Under dessa lektioner har eleverna kopplat bakåt till vad de tidigare lärt sig om själva fotosyntesprocessen för att finna pålitliga argument för sina resonemang. Dessa återkopplingar mellan kunskapsperspektiv från de tre visionerna verkar således ha bidragit till utvecklande av kraftfull kunskap.

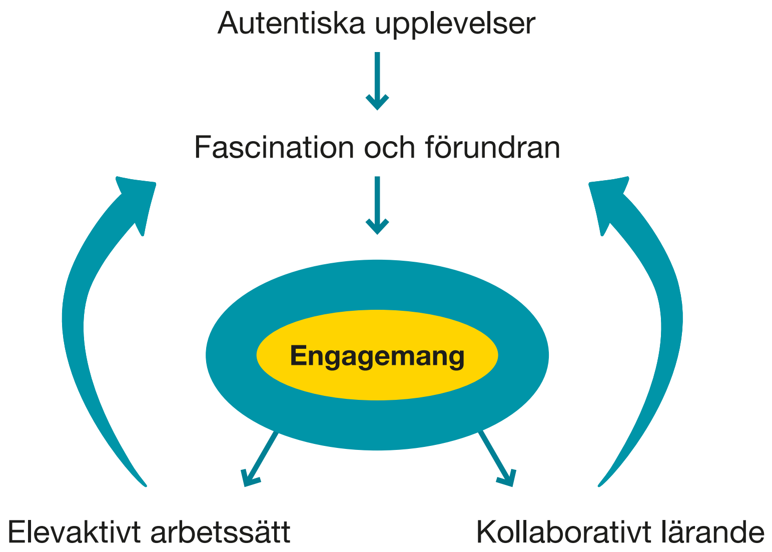
Bacus (2025) styrker också att lokala anpassningar, som också gjordes i ett par av undervisningsdesignens lektioner, ger både ökad upplevd relevans, engagemang och bättre förståelse hos eleverna. Kopplingen till elevernas livsvärld där de känner igen fenomen eller annat från tidigare erfarenheter kan göra att undervisningen känns mera meningsfull för eleverna då de kan uppleva ett fenomenologiskt meningsskapande för att bättre förstå sin tillvaro. Detta kopplar också till förutsättningar för vision II och III litteracitet för underlättande av samhällsengagemang (Holbrook, 2022; Sjöström & Eilks, 2018). Avsiktligt valdes företag ut i argumentationsövningen, se tabell 2, så att blandningen av dem skulle innehålla kända och okända företag. Tanken var också att någon elev skulle ha någon anhörig som arbetade på det stora pappersbruksföretaget, vilket också visade sig vara fallet. Lektionen upplevdes av eleverna på detta sätt relevant och gav ett stort engagemang bland eleverna.

Även första lektionen med exkursionsaktiviteter bygger på lokalkännedom genom att ekosystemet skogen som besöktes ligger nära

experimentgruppens skola. Upptagningsområdet till skolan ligger också till största delen i barrskogsområden varför eleverna är vana vid lantlig skogsmiljö. Det är såsom Harris et al. (2025) påpekar bra för elevengagemang och lärande att göra lokala anpassningar men det är tidskrävande. Detta är något som därför behöver tänkas på vid introduktion av nya lärare på en skola och även att förbereda blivande lärare på i lärarutbildningen.

Modell för skapande av elevengagemang

De fyra aspekterna identifierade som motivationsskapande från den kvalitativa analysen av undervisningsdesignen har via en relationsanalys (Braun & Clarke, 2022), satts i relation till varandra i kappan för att tentativt visa och spekulera kring hur de kan tänkas ha ökat elevernas engagemang i undervisningen, se Figur 9.



Figur 9. *Relationerna mellan aspekter av undervisningsdesignen som kan ha gett ökat elevengagemang i fotosyntesundervisningen via en återkopplingsprocess.*

De autentiska upplevelserna, exempelvis från första lektionens exkursion, har väckt fascination och förundran. Dessa känslor kan ha motiverat till ett ökat synligt engagemang i elevaktiva arbetssätt, såsom exempelvis i modelleringen av fotosyntesprocessen. Dessutom

har engagemanget lett till hög aktivitet i gruppuppgifter som exempelvis argumentationsuppgifter och diskussioner om lokala företags beroende av fotosyntes.

Elevcentrerade undervisningen via elevaktiva arbetssättet och kollaborativa lärandet kan ha bidragit till att eleverna upptäckt relevansen (Kang & Keinonen, 2018) av fotosyntesen för hållbarhetsfrågor, vilket i sin tur på nytt väckt fascination och förundran för ett förnyat engagemang. En cirkelprocess i lärandemotivation har på detta sätt skapats som kunnat möjliggöra en del av den lärandeframgång som undervisningsdesignen genererat enligt effektstudien. En känsla av att lyckas lära sig kan på detta sätt öka motivation och engagemang att lära sig än mer (Gurung, 2017).

Autentiska upplevelser i undervisningen gav eleverna nya intryck som i viss mån gav känslor av fascination och förundran. Speciellt var det uppenbart under exkursionen. Även Häggströms (2020) har påpekat vikten av naturupplevelser i undervisningen. Också växtodlingen och funderingar kring hur glasinneslutna konstruerade ekosystemet kunde fungera utan att öppnas kunde väcka viss fascination hos eleverna. Autentiska upplevelser i naturvetenskaplig undervisning kan också enligt Schilhab (2021) vara viktiga ögonöppnare för grundskoleelever

Elevaktiva arbetssättet och kollaborativa lärandet ligger också i linje med den i forskningslitteraturen beskrivna självbestämmandeteorin för inre motivation (Deci & Ryan, 2000). Deci och Ryan beskriver hur inre motivation främjas genom tillgodoseendet av behoven av autonomi, kompetens och samhörighet. Deci och Ryan (2012) framhåller att undervisningsaktiviteter som innehåller inslag av egenbestämmande, relationsskapande och kompetensutveckling skapar ökat intresse, glädje och engagemang hos elever.

Vidare har ett ramverk av MacIntosh och Asghar (2025), med självbestämmandeteorin som grund, skapats för att främja motivation i naturvetenskaplig undervisning med fokus på hållbarhet. De betonar i ramverket vikten av att erbjuda elevaktiva problembaserade uppgifter och främja samarbete i grupp samt att uttrycka tilltro till elevernas kompetens. Detta påminner också om innehållet i den utvecklade undervisningsdesignen för fotosynteslitteracitet och dess fokus på elevaktiva arbetssätt och kollaborativt lärande.

Studiens begränsningar

Den ökade uppmärksamhet som experimentgruppen upplevt via närvaron av mig som observatör under lektionerna och det faktum att elever och föräldrar vet om att en forskningsstudie pågår kan ha påverkat eleverna så de betett sig annorlunda än vanligtvis. Enligt lärarna var inte så fallet men det kan ändå inte uteslutas.

En sak som talar för att effektstorleken av undervisningsdesignen var något lägre än vad den skulle kunna varit är att första och andra omgångens elever som deltog i experimentgruppens för- och eftertest inte fick undervisning lika väl designad som tredje omgångens elever. Under den första omgången var inte designen lika väl utarbetad som i sista omgången eftersom vi tentativt försökte göra undervisningsdesignen effektivare från omgång till omgång. Eleverna som deltog under första omgången hade också lägre förbättringar men inte så mycket att de var signifikant sämre än de senare omgångarna. Andra och tredje omgången var ungefär lika. Förändringarna i designen var också färre från omgång två till tre. Totalt sett var antalet elever i experimentgruppen lågt, och en större studie med fler elever kunde mycket väl givit tydligare positiva resultat.

Ytterligare en faktor som kan ha påverkat utfallet är att kontrollgruppens lärare hade 24, 26 och 30 års erfarenhet medan experimentgruppens lärare bara hade 2 och 3 års erfarenhet. Enligt en systematisk översikt genomförd av Kini och Podolsky (2016) så tenderar lärare bli effektivare med längre undervisningserfarenhet. Förbättringarna är störst de första två decennierna men fortsätter även under tredje decenniets lärarerfarenhet. Därmed talar det mesta för att det inte finns någon positiv bias i urvalet av skolor och lärare, vilket också stöds av de data om skolprestationer som redovisats i metodavsnittet.

Avhandlingens bidrag och framtida forskningsbehov

Frågor som kvarstår för framtida forskning att utveckla i undervisningsdesignen är hur den kan förändras så att den får större effekter på elevers lärande utifrån vision III av fotosynteslitteracitet. För ökad generaliserbarhet av undervisningsdesignen så behöver också flera liknande studier i andra skolor utföras. Ännu är det alltså en bit kvar tills vi vet att alla elever kan tillgodogöra sig den kraftfulla fotosynteskunskapen genom att bli undervisade om fotosyntes utifrån den

utvecklade undervisningsdesignen. Men vi är en bit på väg vilket följande citat från intervju med en elev i årskurs sju talar för.

> *”Jag hade tidigare ingen aning om att fotosyntesen var så betydelsefull. Så mycket som den påverkar…Vi gick igenom den i mellanstadiet men då tyckte jag inte den var så intressant. Det var mer intressant nu och jag har lärt mig massor. I framtiden kommer jag att tänka på hur betydelsefull fotosyntesen är och mera tänka på vad jag kan göra själv för att bete mig på hållbart sätt”*

Vi vet ännu inte hur utvecklad fotosynteslitteracitet med åtföljande kraftfull kunskap som eleverna uppvisar efter avslutad grundskola eller när de blivit aktiva samhällsmedborgare. Av praktiska skäl har avhandlingens inriktning fokuserat på att undersöka elevers fotosynteslitteracitet i årskurs sju, eftersom ekologiavsnittet med undervisning om fotosyntes oftast är förlagt till denna årskurs på högstadiet. Det finns därför ett behov av fler studier som genomförs i årskurs nio och inom senare undervisningsformer.

Det bör också påpekas att designstudier i autentiska skolmiljöer, särskilt på högstadiet, är relativt ovanliga (McKenney & Reeves, 2018). I denna avhandling utfördes delstudie 3 i direkt samarbete med lärare i en designstudie. Den parallella utvärderingsstudien krävde också samarbete med praktikens lärare i högstadiet. Designstudier efterlyses men skälet till att få genomförs är förmodligen att de är svåra att genomföra. Detta beroende på att de är både resurskrävande och tidskrävande. Designstudien genomfördes i omgångar för att tentativt sträva efter en förbättrad undervisningsdesign. Utprovandet av kunskapstest i artikel fyra och följandet av lektioner på plats tog också lång tid. Fler forskningsstudier skulle behöva genomföras i autentiska skolmiljöer annars riskerar många didaktiska forskningsstudier också att anses vara irrelevanta av yrkesverksamma lärare (Borg, 2007; van Shaik et al., 2018).

Det sätt som denna avhandling genomförts på har följt den av Gericke (2024) föreslagna arbetsgången för framtagande av kraftfull kunskap med hjälp av Delphi-metodik och undervisningsdesignstudie. Fler sådana avhandlingar skulle kunna utföras och samtidigt engagera aktiva lärare i autentiska skolmiljöer så att även lärarkåren ser den ämnesdidaktikforskningen som mera relevant för yrkesutövningen. Avhandlingen kan i detta sammanhang fungera som ett vägledande exempel

på hur didaktisk forskning för etablerande av kraftfull kunskap hos eleverna inom ett undervisningsområde kan utföras (Gericke, 2024).

Transformationer från ämnesdisciplin till undervisningsinnehåll är också en professionskunskap för lärare. Avhandlingen kan därför också komma att användas inom lärarutbildningen som exempel på hur man kan planera, utföra och utvärdera sin undervisning.

När det gäller att förmedla den kraftfulla kunskapen om fotosyntesen till eleverna återstår fortfarande mycket arbete innan alla fullt ut förstår innebörden av det inledande citatet:

> ”Fotosyntesen sticker tydligt ut som den mest betydelsefulla biokemiska processen på jorden”
>
> (Barker & Carr, 1989a, s. 41, översatt av undertecknad)

Men vi har startat resan dit…

Referenser

Abla, C., & Fraumeni, B. R. (2019). *Student engagement: Evidence-based strategies to boost academic and social-emotional results*. McREL Intertional. https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED600576.pdf

Akpinar, E. (2007). The effect of dual situated learning model on students' understanding of photosynthesis and respiration concepts. *Journal of Baltic Science Education, 6*(3), 16–26. http://oaji.net/articles/2014/987-1404288495.pdf

Albrecht, J. R., & Karabenick, S. A. (2018). Relevance for learning and motivation in education. *The Journal of Experimental Education*, *86*(1), 1-10. https://doi.org/10.1080/00220973.2017.1380593

Andersson, B. (2008). *Att förstå skolans naturvetenskap: Forskningsresultat och nya idéer*. Studentlitteratur.

Arnold, J. E. M., Köhlin, G., Persson, R., & Shepherd, G. (2003). *Fuelwood revisited: What has changed in the last decade? Infobrief 6* (Occasional Paper No. 39). Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research CIFOR). https://www.cifor-icraf.org/knowledge/publication/1197/

Artisan Software. (2023). *Artologik Survey & Report*. https://www.artologik.com/se/survey-report

Aschbacher, P. R., Li, E., & Roth, E. J. (2010). Is science me? High school students' identities, participation and aspirations in science, engineering, and medicine. *Journal of Research in Science Teaching*, *47*(5), 564–582. https://psycnet.apa.org/record/2010-08509-004

Atchia, S. M. C., Chummun, D., & Luckho, S. (2024). Use of design thinking as a strategy to identify and clear students' misconceptions in photosynthesis: A case study. *Journal of Biological Education*, *58*(3), 666-683. https://doi.org/10.17501/27059901.2021.2103

Avella, J. R. (2016). Delphi panels: Research design, procedures, ad vantages, and challenges. *International Journal of Doctoral Studies*, *11*, 305-321. http://www.informingscience.org/Publications/3561

Ayuso, A., Merayo, N., Ruiz, I., & Fernandez, P. (2022). Challenges of STEM Vocations in secondary education. *IEEE Transactions on Education*, *65*(4), 713–724. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9782729

Azzopardi, L. (2021, March). Cognitive biases in search: A review and reflection of cognitive biases in Information Retrieval. I *Proceedings of the 2021 conference on human information interaction and retrieval* (sid. 27-37). ACM. https://doi.org/10.1145/3406522.3446023

Bacus, I. (2025). Adaptation of localized educational materials and student learning outcomes. *Nexus International Journal of Science and Education, 2*(3), 1-47. https://doi.org/10.5281/zenodo.16424343

Badeo, J. M., & Duque, D. A. (2022). The effect of socio-scientific issues (SSI) in teaching science: A meta-analysis study. *Journal of Technology and Science Education, 12*(2), 291–302. https://doi.org/10.3926/jotse.1433

Barker, M., & Carr, M. (1989a). Teaching and learning about photo synthesis. Part 1: An assessment in terms of students' prior knowledge. *International Journal of Science Education, 11*(1), 49–56. https://doi.org/10.1080/0950069890110105

Barker, M., & Carr, M. (1989b). Teaching and learning about photosynthesis. Part 2: A generative learning strategy. *International Journal of Science Education, 11*(2), 141–152. https://doi.org/10.1080/0950069890110203

Barzilai, S., & Chinn, C. A. (2017). On the Goals of Epistemic Education: Promoting Apt Epistemic Performance. *Journal of the Learning Sciences, 27*(3), 353–389. https://doi.org/10.1080/10508406.2017.1392968

Bernstein, B. (1971) *Class, codes and control: Volume 1: Theoretical studies towards a sociology of language*. Routledge and Kegan Paul.

Bernstein, B. (1990). *Class, codes and control, volume IV: The structuring of pedagogic discourse*. Routledge.

Bernstein, B. (2006). Vertical and horizontal discourse: An essay. In *Education and society* (pp. 53-73). Routledge.

Bladh, G. (2020). GeoCapabilities, didaktical analysis and curriculum thinking – Furthering the dialogue between Didaktik and curriculum. *International Research in Geographical and Enviromenttal Education, 29*(3), 206–220. https://doi.org/10.1080/10382046.2020.1749766

Borg, S. (2007). Research engagement in English language teaching. *Teaching and Teacher Education, 23*(5), 731–747. https://doi.org/10.1016/j.tate.2006.02.001

Bosch, M., Chevallard, Y., & Gascòn, J. (2005). Science or magic? The use of models and theories in didactics of mathematics. *Proceedings of CERME4.*

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, *3*(2), 77-101. https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa

Braun, V., & Clarke, V. (2021). Can I use TA? Should I use TA? Should I not use TA? Comparing reflexive thematic analysis and other pattern-based qualitative analytic approaches. *Counselling and Psychotherapy Research*, *21*(1), 37-47. https://doi.org/10.1002/capr.12360

Braun, V., & Clarke, V. (2022). *Thematic analysis: A practical guide.* SAGE Publications.

California Academy of Sciences. (n.d.). *Modeling photosynthesis and cellular respiration*. https://www.calacademy.org/educators/lesson-plans/modelling-photosynthesis-and-cellular-respiration

Cao, R., Zhang, Y., Fernández-Martínez, M., Zhang, Z., Lai, G., Ju, W., & Peñuelas, J. (2025). Global evidence for a positive relationship between tree species richness and ecosystem photosynthesis. *Nature Plants*, 11, 1429–1440. https://www.nature.com/articles/s41477-025-02046-1

Carlgren, I. (2020). Powerful knowns and powerful knowings. *Journal of Curriculum Studies, 52*(3), 323–336. https://doi.org/10.1080/00220272.2020.1717634

Chang, Y. Y., Su, W. C., Tang, I. C., & Chang, C. Y. (2016). Exploring the benefits of school gardening for children in Taiwan and identifying the factors influencing these bene

fits. *HortTechnology*, *26*(6), 783-792. https://doi.org/10.21273/HORTTECH03489-16

Cheung, D. (2011). Students' attitudes toward chemistry lessons: The interaction effect between grade level and gender. *Research in Science Education, 41*(5), 673–691. https://doi.org/10.1007/s11165-010-9185-x

Chevallard, Y. (2007). Readjusting didactics to a changing epistemology. *European Educational Research Journal*, *6*(2), 131–134. https://doi.org/10.2304/eerj.2007.6.2.131

Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné*. La Pensée Sauvage.

Cimer, A. (2012). What makes biology learning difficult and effective: Students' views. *Educational Research and Reviews*, *7*(3), 61. https://doi.org/10.5897/ERR11.205

Colglazier, W. (2015). Sustainable development agenda: 2030. *Sci ence*, *349*(6252), 1048-1050. https://doi.org/10.1126/science.aad2333

Covitt, B. A., Parker, J. M., Kohn, C., Lee, M., Lin, Q., & Anderson, C. W. (2023). *Understanding and responding to challenges students face when engaging in carbon cycle pool-and-flux reasoning*. Maastricht University.

Dauer, J. M., Bravo Gaona, V., & Meulenbroeks, R. (2025). Vision II scientific literacy assessment instruments for secondary education: A scoping review. *International Journal of Education in Mathematics, Science, and Technology, 13*(2), 498-516. https://doi.org/10.46328/ijemst.4747

DeBoer, G. E. (2000). Scientific literacy: Another look at its historical and contemporary meanings and its relationship to sci ence education reform. *Journal of Research in Science Teaching*, *37*(6), 582-601. https://doi.org/10.1002/1098-2736(200008)37:6<582::AID-TEA5>3.0.CO;2-L

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2000). The" what" and" why" of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological inquiry*, *11*(4), 227-268. https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1104_01

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2012). Self-determination theory. I P.A. M. Van Lange, A.W. Kruglanski, & E.T. Higgins (Red.), *Handbook of theories of social psychology*, 416–436. Sage Publications.

Deng, Z. (2018). Pedagogical content knowledge reconceived: Bring ing curriculum thinking into the conversation on teachers' content knowledge. *Teaching and Teacher Education*, *72*, 155-164. https://doi.org/10.1016/j.tate.2017.11.021

Deng, Z. (2022). Powerful knowledge, educational potential and knowledge-rich curriculum: pushing the boundaries. *Journal of Curriculum Studies*, *54*(5), 599–617. https://doi.org/10.1080/00220272.2022.2089538

Deng, Z., Chapman, A., & Gericke, N. (2025). Powerful knowledge, school subjects and the curriculum: an international and comparative perspective. *Journal of Curriculum Studies*, *57*(4), 365-381. https://doi.org/10.1080/00220272.2025.2528744

Dessen Jankell, L. (2023). *Förstå verkligheten som system:-att ut veckla gymnasieelevers systemgeografiska kunnande ge nom geografiundervisning* [Doktorsavhandling, Stockholms universitet]. DiVA. http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:su:diva-220636

Diehl, M., Wahl, H.-W., & Freund, A. M. (2017). Ecological validity as a key feature of external validity in research on human development. *Research in Human Development, 14*(3), 177–181. https://doi.org/10.1080/15427609.2017.1340053

Dolenc, P., & Orbanič, R. (2016). Emotional intelligence and selfesteem in students in the final stage of elementary school. *CEPS Journal, 6*(3), 91–107. https://cepsj.si/index.php/cepsj/article/view/147

Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, U., Komorek, M. & Parchmann, I. (2012) The model of educational reconstruction – a framework for improving teaching and learning science. I D. Jorde & J. Dillon, (Red.), *Science education research and practice in Europe: Retrospective and prospective,* 13–37. Sense Publishers.

Dzhurko, D., Haacke, B., Haberbosch, A., Köhne, L., König, N., Lode, F...& Churkina, G. (2024). Future buildings as carbon sinks: Comparative analysis of timber-based building typologies regarding their carbon emissions and storage. *Frontiers in Built*

Environment, *10*, 1330105. https://doi.org/10.3389/fbuil.2024.1330105

Eisen, Y., & Stavy, R. (1993). How to make the learning of photosynthesis more relevant. *International Journal of Science Education*, *15*(2), 117-125. https://doi.org/10.1080/0950069930150201

Eurostat (2022) Land cover statistics – Eurostat. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Land_cover_statistic

Felder, R. M., & Brent, R. (2004). How to evaluate teaching. *Chemical Engineering Education*, *38*(3), 200-202. https://journals.flvc.org/cee/article/view/122655

Felix, S. M., & Ali, S. (2023). Positioning theory in education. *Encyclopedia, 3*(3), 1009–1019. https://doi.org/10.3390/encyclopedia3030073

Feng, X., Wen, H., He, M., & Xiao, Y. (2023). Microclimate effects and influential mechanisms of four urban tree species underneath the canopy in hot and humid areas. *Frontiers in Environmental Science, 11*, 1108002. https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1108002

Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*. Sage.

Field, C. B., Behrenfeld, M. J., Randerson, J. T., & Falkowski, P. (1998). Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. S*cience*, *281*(5374), 237-240. https://doi.org/10.1126/science.281.5374.237

FN (2025). Department of economic and social affairs sustainable development. https://sdgs.un.org

Foster, E. (2018). The importance of understanding student misconceptions. *The Learning Professional*, *39*(3), 16-19. https://doi.org/10.3102/0002831218769614

Freymueller, J., Schmid, H. L., Senkler, B., Lopez Lumbi, S., Zerbe, S., Hornberg, C., & McCall, T. (2024). Current methodologies of greenspace exposure and mental health research—a scoping review. *Frontiers in public health, 12*, 1360134. https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1360134

Gericke, N. (2009). *Science versus School-science; Multiple models in genetics – The depiction of gene function in upper secondary textbooks and its influence on students' understanding*. [Doktorsavhandling, Karlstads universitet]. DIVA. https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:128104/fulltext02

Gericke, N. (2024). From discipline to school subject: A biology example. In *Research handbook on curriculum and education* (pp. 192-205). Edward Elgar Publishing. https://doi.org/10.4337/9781802208542.00021

Gericke, N., Hudson, B., Olin-Scheller, C., & Stolare, M. (2018). Powerful knowledge, transformations and the need for empirical studies across school subjects. *London Review of Education,* 16(3). 428–444. DOI https://doi.org/10.18546/LRE.16.3.06

Gericke, N., Tani, S., Newall, E., & Deng, Z. (2025). A framework for curricular analysis of powerful knowledge: Comparing school biology in England, Finland and Sweden. *Journal of Curriculum Studies*, 1-25. https://doi.org/10.1080/00220272.2025.2512323

Gong, J., Li, C., & Wasielewski, M. R. (2019). Advances in solar energy conversion. *Chemical Society Reviews*, *48*(7), 1862-1864. https://doi.org/10.1039/c9cs90020a

Greatorex, J., & Dexter, T. (2000). An accessible analytical approach for investigating what happens between the rounds of a Delphi study. *Journal of advanced nursing*, *32*(4), 1016-1024. https://doi.org/10.1046/j.1365-2648.2000.t01-1-01569.x

Green, R. A. (2014). The Delphi technique in educational res earch. *Sage Open*, *4*(2). https://doi.org/10.1177/2158244014529773

Guerra-Reyes, F., Guerra-Dávila, E., Naranjo-Toro, M., Basantes-Andrade, A., & Guevara-Betancourt, S. (2024). Misconceptions in the learning of natural sciences: A systematic review. *Education Sciences*, *14*(5), 497. https://doi.org/10.3390/educsci14050497

Gurung, R. A. R. (2017). Key aspects of motivation in learning. I R. Obeid, A. Schwartz, C. Shane-Simpson, & P. J. Brooks (Red.), *How we teach now: The GSTA guide to studentcentered teaching*, 54–68. Society for the Teaching of Psychology. https://psycnet.apa.org/record/2018-41318-004

Haglund, J., & Hultén, M. (2017). Tension between visions of science education: The case of energy quality in Swedish secondary science curricula. *Science & Education, 26*(4), 323–344. https://doi.org/10.1007/s11191-017-9895-1

Hall, D. O., & Rao, K. (1999). *Photosynthesis*. Cambridge University Press.

Hamada, S., & Ohta, T. (2010). Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban areas. *Urban forestry & urban greening*, *9*(1), 15-24. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2009.10.002

Harding, S. (1998). *Is science multicultural?: Postcolonialisms, feminisms, and epistemologies*. Indiana University Press.

Harris, E. M., Mohan, L., Hanson, A. A., Whitt, K. A. C., Guy-Gaytán, C., & Kenyon, L. O. (2025). "Adapting for a local space can be tricky": Designing units for teachers to localize through phenomenon adaptation. *Science Education, 109(6),* 1551-1582. https://doi.org/10.1002/sce.21978

Hartley, L. M., Wilke, B. J., Schramm, J. W., D'Avanzo, C., & Anderson, C. W. (2011). College students' understanding of the carbon cycle: Contrasting principle-based and informal reasoning. *BioScience*, *61*(1), 65-75. https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.1.12

Hasson, F., & Keeney, S. (2011). Enhancing rigour in the Delphi technique research. *Technological forecasting and social change*, *78*(9), 1695-1704. https://doi.org/10.1016/j.tech-fore.2011.04.005

Holbrook, J., Chowdhury, T. B. M., & Rannikmäe, M. (2022). A future trend for science education: A constructivism-humanism approach to trans-contextualisation. *Education Sciences, 12*(6), 413. https://doi.org/10.3390/educsci12060413

Hudson, B., Gericke, N., Olin-Scheller, C., & Stolare, M. (2023) Trajectories of powerful knowledge and epistemic quality: Analysing the transformations from disciplines across school subjects, *Journal of Curriculum Studies*, 55(2), 119-137. https://doi.org/10.1080/00220272.2023.2182164

Häggström, M. (2020). *Estetiska erfarenheter i naturmöten. En feno menologisk studie av upplevelser av skog, växtlighet och*

undervisning. [Doktorsavhandling, Göteborgs universitet]. Acta Universitatis Gothenburgensis. https://gupea.ub.gu.se/handle/2077/62583

Jančaříková, K., & Jančařík, A. (2022). How to teach photosynthesis? A review of academic research. *Sustainability, 14* (20), 1-12. https://doi.org/10.3390/su142013529

Janssen, P. J., Lambreva, M. D., Plumeré, N., Bartolucci, C., Anto nacci, A., Buonasera, K., ... & Rea, G. (2014). Photosynthesis at the forefront of a sustainable life. *Frontiers in chemistry*, *2*, 36. https://doi.org/10.3389/fchem.2014.00036

Kang, J., & Keinonen, T. (2018). The effect of student-centered approaches on students' interest and achievement in science: Relevant topic-based, open and guided inquiry-based, and discussion-based approaches. *Research in Science Education, 48*(4), 865–885. https://doi.org/10.1007/s11165-016-9590-2

Karakaya, F., Yılmaz, M., & Aca, E.I. (2021). Examination of pre-service science teachers´ conceptual perceptions and misconceptions about photosynthesis. *Pedagogical Research*, *6*(4). https://doi.org/10.29333/pr/11216

Kaya, C. (2015). Internal validity: A must in research designs. *Educational Research and Reviews, 10*(2), 111–118. https://doi.org/10.5897/ERR2014.1835

Keinonen, T., Yli-Panula, E., Svens, M., Vilkonis, R., Persson, C., & Palmberg, I. (2022). *Environmental issues in the media – students' perceptions in three Nordic-Baltic countries. Education Sciences, 12*(6), 408. https://doi.org/10.3390/educsci12060408

Keleş, E., & Kefeli, P. (2010). Determination of student misconcep tions in "photosynthesis and respiration" unit and correcting them with the help of cai material. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *2*(2), 3111-3118. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.03.474

Khodyakov, D., Grant, S., Kroger, J., & Bauman, M. (2023). *RAND methodological guidance for conducting and critically appraising Delphi panels*. Rand. https://www.rand.org/pubs/tools/TLA3082-1.html

King, D. (2011). Context-based learning in science: An approach to enhance student interest and engagement. I M.S. Khine & I.M. Saleh (Red.), *New science of learning: Cognition, computers and collaboration in education*, 305–320. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5716-0_15

Kini, T., & Podolsky, A. (2016). *Does teaching experience increase teacher effectiveness? A review of the research.* Learning Policy Institute. https://learningpolicyinstitute.org/sites/default/files/product-files/Teaching_Experience_Report_June_2016.pdf

Klafki, W. (2006). Didaktik analysis as the core of the preparation of instruction. I I. Westbury & G. Milburn (Red.), *Rethinking schooling*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203963180

Knippels, M. C. P. J. (2002). *Coping with the abstract and complex nature of genetics in biology education – The yo-yo learning and teaching strategy.* [Doktorsavhandling, Utrecht universitet]. CD-β Press. https://dspace.library.uu.nl/bitstream/handle/1874/219/full.pdf

Knippels, M. C. P. J., & Waarlo, A. J. (2018). Development, uptake, and wider applicability of the yo-yo strategy in biology education research: A reappraisal. *Education Sciences*, *8*(3), 129. https://doi.org/10.3390/educsci8030129

Kong, Y. (2021). The role of experiential learning on students' motivation and classroom engagement. *Frontiers in Psychology, 12*, 771272. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.771272

Köpeczi-Bócz, T. (2025). Cognitive-dissonance-based educational methodological innovation for a conceptual change to in crease institutional confidence and learning motivation. *Education Sciences, 15*(3), 378. https://doi.org/10.3390/educsci15030378

Lambert, D. (2018). Geography, capabilities, and the educated person. I E.E. Shin & S.W. Bednarz (Red.), *Spatial citizenship education*, 22-40. Routledge.

Landeta, J., & Lertxundi, A. (2024). Quality indicators for Delphi studies. *Futures & Foresight Science*, *6*(1), e172. https://doi.org/10.1002/ffo2.172

Lee, A. C., & Maheswaran, R. (2011). The health benefits of urban green spaces: a review of the evidence. *Journal of Public Health*, *33*(2),212-222. https://doi.org/10.1093/pubmed/fdq068

Lian, L. H., & Peng, P. Y. (2021). A diagnosis of students' misconcep tions of photosynthesis and plant respiration. *Asia Pacific Journal of Educators and Education*, *36*(1), 155-176. https://doi.org/10.21315/apjee2021.36.1.9

MacIntosh, N., & Asghar, A. (2025). An integrated framework to motivate student engagement in science education for sustainable development. *Education Sciences, 15*(7), 903. https://www.mdpi.com/2227-7102/15/7/903

Marmaroti, P., & Galanopoulou, D. (2006). Pupils' understanding of photosynthesis: A questionnaire for the simultaneous assessment of all aspects. *International Journal of Science Education*, *28*(4), 383-403. https://doi.org/10.1080/09500690500277805

Marques, J. B. V., & de Freitas, D. (2018). The delphi method: characterization and potentialities for educational research. *Pro-Posições, 29*(2), 389-415. https://doi.org/10.1590/1980-6248-2016-0009

Matthews, M. R. (2009). Science and worldviews in the classroom: Joseph Priestley and photosynthesis. *Science & Education, 18*(6), 929–960. https://doi.org/10.1007/S11191-009-9184-8

McKenney, S., & Reeves, T. (2018). *Conducting educational design research,* (2:a upplagan). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315105642

Mekonen, D., & Kelkay, A. D. (2023). Inquiry-based instructional strategies for effective conceptualization of photosynthesis: The case of elementary school. *Cogent Education*, *10*(1). https://doi.org/10.1080/2331186X.2023.2172927

Métioui, A., Matoussi, F., & Trudel, L. (2016). The teaching of photosynthesis in secondary school: A history of the science ap proach. *Journal of Biological Education, 50*(3), 275-289. https://doi.org/10.1080/00219266.2015.1085427

Mohammed, A., & Abell, S. K. (2022). Exploring students' misconceptions about plant growth and biomass accumulation:

A case study in introductory biology. *International Journal of Science Education, 44*(10), 1652–1671. https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2061234

Mohan, L., Chen, J., & Anderson, C. W. (2009). Developing a multiyear learning progression for carbon cycling in socio-ecological systems. *Journal of Research in Science Teaching*, *46*(6), 675-698. https://doi.org/10.1002/tea.20314

Morgan, H. (2024). Using Triangulation and Crystallization to Make Qualitative Studies Trustworthy and Rigorous. *The Qualitative Report*, *29*(7), 1844-1856. https://doi.org/10.46743/2160-3715/2024.6071

Murayama, K., & von Keyserlingk, L. (2025). A critical analysis of the current motivation theories in educational psychology: Why the same theories continue to dominate. *Educational Psychologist*, 1–16. https://doi.org/10.1080/00461520.2025.2473894

Nkeiru, N. E., & Rose, I. U. (2023). Utilization of School Plants and Effective Teaching and Learning in a Contemporary Society. *International Journal of Contemporary Studies in Education*, *2*(3), 215-223. https://doi.org/10.56855/ijcse.v2i3.166

Näs, H. (2010). *Teaching photosynthesis in a compulsory school context: Students' reasoning, understanding and interactions* [Doktorsavhandling, Umeå universitet]. DIVA. https://umu.diva-portal.org/smash/get/diva2:300885/FULLTEXT01.pdf

O'Connell, D. (2008). An inquiry-based approach to teaching photosynthesis & cellular respiration. *The American Biology Teacher, 70*(6), 350–356. https://doi.org/10.2307/30163295

Ongstad, S. (Red.) (2006). *Fag og didaktikk i læerutdanning: Kunnskap i grenseland*. Universitetsforlaget.

Opitz, S. T., Harms, U., Neumann, K., Kowalzik, K., & Frank, A. (2015). Students' energy concepts at the transition between primary and secondary school. *Research in Science Education*, *45*(5), 691-715. https://doi.org/10.1007/S11165-014-9444-8

Ort, D. R., Merchant, S. S., Alric, J., Barkan, A., Blankenship, R. E., Bock, R., ... & Zhu, X. G. (2015). Redesigning photosynthesis to

sustainably meet global food and bioenergy demand. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 112*(28), 8529-853. https://doi.org/10.1073/pnas.1424031112

Osborne, J., & Pimentel, D. (2023). Science education in an age of misinformation. *Science Education, 107*(3), 553-571. https://doi.org/10.1002/sce.21790

Osgood-Campbell, E. (2015). Investigating the educational implicat ions of embodied cognition: A model interdisciplinary inquiry in mind, brain, and education curricula. *Mind, Brain, and Education, 9*(1), 3–9. https://doi.org/10.1111/mbe.12063

Paillusson, F., & Booth, M. (2025). Embracing representational plurality to bypass misconceptions in science education. *Science & Education, 34*(5), 1955–1969. https://doi.org/10.1007/s11191-024-00590-4

Parker, J. M., Anderson, C. W., Heidemann, M., Merrill, J., Merritt, B., Richmond, G., & Urban-Lurain, M. (2012). Exploring undergraduates' understanding of photosynthesis using diagnostic question clusters. *CBE—Life Sciences Education*, *11*(1), 47-57. https://doi.org/10.1187/cbe.11-07-0054

Pedrera, O., Barrutia, O., Guisasola, J., & Díez, J. R. (2022). Conceptual difficulties in plant nutrition: Epistemological analysis of the topic and a systematic review of. *INTED2022 Proceedings*, 5147-5155. https://doi.org/10.1080/03057267.2024.2442243

Pessarrodona, A., Howard, J., Pidgeon, E., Wernberg, T., & Filbee-Dexter, K. (2024). Carbon removal and climate change mitigation by seaweed farming: A state of knowledge review. *Science of the Total Environment*, *918*, 170525. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170525Get rights and content

Pieschl, S. (2021). Will using the Internet to answer knowledge ques tions increase users' overestimation of their own ability or performance? *Media Psychology*, *24*(1), 109-135. https://doi.org/10.1177/1475725721996223

Plomp, T. (2013). Educational design research: An introduction. I T. Plomp & N. Nieveen (Red.), *Educational design research*, 11-50. Institute for Curriculum Development (SLO).

Ponce, O. A., & Pagán-Maldonado, N. (2015). Mixed methods rese arch in education: Capturing the complexity of the profess sion. *International Journal of Educational Excellence*, *1*(1), 111-135. https://www.ijee.org/assets/docs/1.111135.pdf

Rajoo, K. S., Karam, D. S., & Abdullah, M. Z. (2020). The physiological and psychosocial effects of forest therapy: A systematic review. *Urban Forestry & Urban Greening*, *54*, 126744. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126744

Ringsmuth, A. K., Landsberg, M. J., & Hankamer, B. (2016). Can photosynthesis enable a global transition from fossil fuels to solar fuels, to mitigate climate change and fuel-supply limitations? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *62*, 134-163. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.016

Roberts, D. A. (2007) Scientific literacy/science literacy. I S.K. Abell & N.G. Lederman (Red.), *Handbook of research on science education*, 729-780. Lawrence Erlbaum.

Roberts, D. A., & Bybee, R. W. (2014). Scientific literacy, science liter acy, and science education. I. N. G. Lederman & S. K. Abell (Red.), *Handbook of Research on Science Education, Volume II,* 559-572. Routledge.

Robson, C., & McCartan, K. (2016). *Real World Research: A Resource for Users of Social Research Methods in Applied Settings* (4:e upplagan). Wiley.

Rogers, J., & Cheung, A. (2021). Does it matter when you review?: Input spacing, ecological validity, and the learning of L2 vocabulary. *Studies in Second Language Acquisition, 43*(5), 1138–1156. https://doi.org/10.1017/S0272263120000236

Rosa, C. D., Larson, L. R., Collado, S., & Profice, C. C. (2021). Forest therapy can prevent and treat depression: Evidence from meta-analyses. *Urban Forestry & Urban Greening*, *57*, 126943. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126943

Ryder, J. (2001). Identifying science understanding for functional scientific literacy. *Studies in Science Education, 36(1)*, 1-44. https://doi.org/10.1080/03057260108560166

Ryoo, K., & Linn, M. C. (2012). Can dynamic visualizations improve middle school students' understanding of energy in

photosynthesis? *Journal of Research in Science Teaching, 49*(2), 218-243. https://doi.org/10.1002/tea.21003

Schilhab, T. (2021). Nature experiences in science education in school: Review featuring learning gains, investments, and costs in view of embodied cognition. *Frontiers in Education, 6*, 739408. https://doi.org/10.3389/feduc.2021.739408

Schwartz, R., & Brown, M. H. (2012). Understanding photosynthesis and cellular respiration: Encouraging a view of biological nested systems. I D. Treagust & C.Y. Tsui (Red.), *Multiple representations in biological education*, 203-223. Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4192-8_12

Sheldrake, R., Mujtaba, T., & Reiss, M. J. (2017). Science teaching and students' attitudes and aspirations: The importance of conveying the applications and relevance of science. *International Journal of Educational Research*, *85*, 167-183. https://doi.org/10.1016/j.ijer.2017.08.002Get rights and content

Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1–22. https://doi.org/10.17763/haer.57.1.j463w79r56455411

Siah, C. J. R., Goh, Y. S., Lee, J., Poon, S. N., Ow Yong, J. Q. Y., & Tam, W. S. W. (2023). The effects of forest bathing on psychological well-being: A systematic review and meta-anal ysis. *International Journal of Mental Health Nursing*, *32*(4), 1038-1054. https://doi.org/10.1111/inm.13131

Sjöström, J. (2025). Vision III of scientific literacy and science education: An alternative vision for science education emphasising the ethico-socio-political and relational-existential. *Studies in Science Education*, *61*(2), 239–274. https://doi.org/10.1080/03057267.2024.2405229

Sjöström, J., & Eilks, I. (2018). Reconsidering different visions of scientific literacy and science education based on the concept of *Bildung*. In: Dori, Y.J., Mevarech, Z.R., Baker, D.R. (Red.), *Cognition, Metacognition, and Culture in STEM Education*, 65-88. (Innovations in Science Education and Technology, vol 24). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66659-4_4

Sjöström, J., Frerichs, N., Zuin, V. G., & Eilks, I. (2017). Use of the concept of Bildung in the international science education

literature, its potential, and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, 53(2), 165–192. https://doi.org/10.1080/03057267.2017.1384649

Skribe Dimec, D., & Strgar, J. (2017). Scientific conceptions of photosynthesis among primary school pupils and student teachers of biology. *Ceps Journal*, *7*(1), 49-68. https://doi.org/10.25656/01:12958

Stavy, R., Eisen, Y., & Yaakobi, D. (1987). How students aged 13-15 understand photosynthesis. *International Journal of Science Education*, *9*(1), 105-115. https://doi.org/10.1080/0950069870090111

Stein, M., Larrabee, T. G., & Barman, C. R. (2008). A study of common beliefs and misconceptions in physical science. *Journal of Elementary Science Education*, *20*(2), 1-11. https://doi.org/10.1007/BF03173666

Stirbet, A., Lazár, D., Guo, Y., & Govindjee, G. (2020). Photosynthesis: basics, history and modelling. *Annals of botany*, *126*(4), 511-537. https://doi.org/10.1093/aob/mcz171

Stuckey, M., Hofstein, A., Mamlok-Naaman, R., & Eilks, I. (2013). The meaning of 'relevance' in science education and its implications for the science curriculum. *Studies in Science Education*, *49*(1), 1–34. https://doi.org/10.1080/03057267.2013.802463

Svandova, K. (2014). Secondary school students' misconceptions about photosynthesis and plant respiration: Preliminary results. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *10*(1), 59-67. https://doi.org/10.12973/eurasia.2014.1018a

Taylor, A., Tallon, D., Kessler, D., Peters, T. J., Shafran, R., Williams, C., & Wiles, N. (2020). An expert consensus on the most effective components of cognitive behavioural therapy for adults with depression: a modified Delphi study. *Cognitive Behaviour Therapy*, *49*(3), 242-255. https://doi.org/10.1080/16506073.2019.1641146

Thyberg, A., Schönborn, K. & Gericke, N. (2025). Phases of progression: students' meaning-making of epigenetic visual representations within and between levels of organization. *Research in Science Education* 55(2), 399–423. https://doi.org/10.1007/s11165-024-10196-z

Thyberg, A., Schönborn, K., & Gericke, N. (2024). Investigating stu dents' meaning-making of multiple visual representations of epigenetics at different levels of biological organisation. *International Journal of Science Education*, *46*(14), 1405–1431. https://doi.org/10.1080/09500693.2023.2289175

Thörne, K., & Gericke, N. (2014). Teaching genetics in secondary classrooms: A linguistic analysis of teachers' talk about proteins. *Research in Science Education*, *44*(1), 81-108. https://doi.org/10.1007/s11165-013-9375-9

Urey, M. (2018). Defining the relationship between the perceptions and the misconceptions about photosynthesis topic of the preservice science teachers. *European Journal of Educational Research*, *7*(4), 813-826. https://doi.org/10.12973/eu-jer.7.4.813

Valladares, L. (2021). Scientific literacy and social transformation: Critical perspectives about science participation and emancipation. *Science & Education, 30*(3), 557-587. https://doi.org/10.1007/s11191-021-00223-4

Van den Akker, J., Gravemeijer, K., & McKenney, S. (2006). Introducing educational design research. I J. Van den Akker, K. Gravemeijer, S. McKenney & N. Nieveen (Red.), *Educational design research*, 15-19. Routledge.

van Schaik, P., Volman, M., Admiraal, W., & Schenke, W. (2018). Appropriation of research knowledge by teachers: The case of research on formative assessment. *Teaching and Teacher Education, 71*, 244–254. https://doi.org/10.1016/j.tate.2017.12.014

Vetenskapsrådet. (2017). *God forskningssed*. Vetenskapsrådet. https://www.vr.se/download/18.2412c5311624176023d25b05/1555332112063/God-forskningssed_VR_2017.pdf

Vosniadou, S. (2020). Students' misconceptions and science education. In *Oxford Research Encyclopedia of Education*. https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190264093.013.965

Wang, Z., Hu, Y., Zhang, S., & Sun, Y. (2022). Artificial photosynthesis systems for solar energy conversion and storage: Platforms and their realities. *Chemical Society Reviews, 51*(15), 6584–6630. https://doi.org/10.1039/D1CS01008E

Whitmarsh, J., & Govindjee (1999). The Photosynthetic Process. In: Singhal, G.S., Renger, G., Sopory, S.K., Irrgang, KD., Govindjee (Red.), *Concepts in Photobiology,* 11-51. Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4832-0_2

Wynn, A. N., Pan, I. L., Rueschhoff, E. E., Herman, M. A., & Archer, E. K. (2017). Student misconceptions about plants–a first step in building a teaching resource. *Journal of microbiology & biology education*, *18*(1), 10-1128. http://dx.doi.org/10.1128/jmbe.v18i1.1253

Young, M. (2008). *Bringing knowledge back in: From social constructivism to social realism in the sociology of education*. Routledge.

Young, M., & Muller, J. (2013). On the powers of powerful knowledge. *Review of Education*, 1(3), 229-250. https://doi.org/10.1002/rev3.3017

Yu, H., Xu, Y.-P., Zhong, H., Chiang, Y.-M., & Liu, L. (2024). Exploring the impact of urbanization on flood characteristics with the SCS-TRITON method. *Natural Hazards, 120*, 3213–3238. https://doi.org/10.1007/s11069-023-06324-z

Zhou, Y., Liu, Y., & Li, Y. (2022). Ecotourism and ecosystem services: A pathway to sustainable development in photosynthetically active landscapes. *Journal of Sustainable Tourism, 30*(4), 645–662. https://doi.org/10.1080/09669582.2021.1918240

Zhou, Y., Zhang, Y., & Liu, J. (2021). Effects of vegetation cover on soil erosion in different rainfall regimes: A global metaanalysis. *Catena, 201*, 105-198. https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105198

Östman, L., & Lundqvist, E. (2014). The role of knowledge in science education: Developing a sociocultural perspective on environmental education. *Nordic Studies in Science Education, 10*(3), 259–274. https://doi.org/10.5617/nordina.1063

Özay, E., & Öztaş, H. (2003). Secondary students' interpretations of photosynthesis and plant nutrition. *Journal of Biological Education*, *37*(2), 68-70. https://doi.org/10.1080/00219266.2003.9655853

Özcan N (2003). *A Group of Students' and Teachers' Perceptions with Respect to Biology Education at High School Level*, MA Dissertation, Middle East Technical University, Ankara, Turkey. https://hdl.handle.net/11511/13718

Doctoral and licentiate theses in Biology produced at the Department of Environmental and Life Sciences, Karlstad University

1. Ivan C. Olsson. Influence on migration in brown trout, *Salmo trutta* L. Licentiate thesis, 19 May 2003.
2. Ivan C. Olsson. Migration by brown trout (*Salmo trutta* L.) and the effect of environmental factors. Doctoral thesis, 17 December 2004.
3. Amra Hadzihaliovic-Numanovic. Genetic variation and relatedness of fresh water pearl mussels *Margaritifera margaritifera* L. populations. Licentiate thesis, 19 January 2006.
4. Olle Calles. Re-establishment of connectivity for fish populations in regulated rivers. Doctoral thesis, 27 January 2006.
5. Martin Österling. Ecology of freshwater mussels in disturbed environments. Doctoral thesis, 8 December 2006.
6. Mattias Olsson. The use of highway crossing structure to maintain landscape connectivity for moose and roe deer. Doctoral thesis, 8 June 2007.
7. Arne N. Linløkken. Population ecology of perch (*Perca fluviatilis*) in boreal lakes. Doctoral thesis, 13 June 2008.
8. Pär Gustafsson. Forest-stream linkages: experimental studies of foraging and growth of brown trout (*Salmo trutta* L.). Licentiate thesis, 18 June 2008.
9. Niklas Gericke. Science versus school-science: multiple models in genetics – the depiction of gene function in upper secondary textbooks and its influence on students' understanding. Doctoral thesis, 6 February 2009.
10. Gunilla Cassing. Deciduous species occurrence and large herbivore browsing in multiscale perspectives. Licentiate thesis, 12 June 2009.
11. Jan-Olov Andersson. A GIS-based landscape analysis of dissolved organic carbon in boreal headwater streams. Doctoral thesis, 2 October 2009.
12. Linnea Lans. Relations between metabolic rate, migration and behaviour in Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*). Licentiate thesis, 3 June 2010.
13. Pär Gustafsson. Forest-stream linkages: Brown trout (*Salmo trutta*) responses to woody debris, terrestrial invertebrates and light. Doctoral thesis, 25 February 2011.
14. Nina Christenson. Knowledge, value and personal experience: upper secondary students' use of resources when arguing socioscientific issues. Licentiate thesis, 11 March 2011.
15. Carola Borg. Utbildning för hållbar utveckling ur ett lärarperspektiv: ämnesbundna skillnader i gymnasieskolan. Licentiate thesis, 30 September 2011.
16. Johnny R. Norrgård. Landlocked Atlantic salmon *Salmo salar* L. and trout *Salmo trutta* L. in the regulated River Klarälven, Sweden: implications for conservation and management. Licentiate thesis, 25 November 2011.

17. Linnea Lans. Behaviour and metabolic rates of brown trout and Atlantic salmon: influence of food, environment and social interactions. Doctoral thesis, 24 February 2012.
18. Maria Pettersson. Lärares beskrivningar av evolution som undervisningsinnehåll i biologi på gymnasiet. Doctoral thesis, 16 November 2012.
19. Karin Thörne. Teaching genetics – a linguistic challenge: a classroom study of secondary teachers' talk about genes, traits and proteins. Licentiate thesis, 7 December 2012.
20. Stina Gustafsson. The macroinvertebrate community in a nature-like fishway with habitat compensation properties. Licentiate thesis, 20 December 2012.
21. Johan Watz. Winter behaviour of stream salmonids: effects of temperature, light, and ice cover. Licentiate thesis, 27 May 2013.
22. Åsa Enefalk. Effects of fine woody debris on juvenile brown trout (*Salmo trutta*) and drifting invertebrates. Licentiate thesis, 29 April 2014.
23. Johnny R. Norrgård. Migration and quality of landlocked Atlantic salmon smolt: implications for conservation and management. Doctoral thesis, 5 June 2014.
24. Daniel Olsson. Young people's 'sustainability consciousness': effects of ESD implementation in Swedish schools. Licentiate thesis, 14 November 2014.
25. Teresa Berglund. Student 'sustainability consciousness' and decision-making on sustainability dilemmas: investigating effects of implementing education for sustainable development in Swedish upper secondary schools. Licentiate thesis, 28 November 2014.
26. Nina Christenson. Socioscientific argumentation: aspects of content and structure. Doctoral thesis, 5 June 2015.
27. Johan Watz. Salmonid behaviour under winter conditions. Doctoral thesis, 22 January 2016.
28. Susanne Walan. From doing to learning: Inquiry- and context-based science education in primary school. Doctoral thesis, 20 May 2016.
29. Anders Andersson. Catch and effort from a recreational trolling fishery in a large lake. Licentiate thesis, 9 June 2016.
30. Åsa Enefalk. Fine stream wood. Effects on drift and brown trout (*Salmo trutta*) growth and behaviour. Doctoral thesis, 23 September 2016.
31. Daniel Nyqvist. Atlantic salmon in regulated rivers: migration, dam passage and fish behaviour. Doctoral thesis, 9 December 2016.
32. Lea D. Schneider. Conservation ecology of the thick-shelled river mussel *Unio crassus* – the importance of parasite-host interactions. Doctoral thesis, 24 February 2017.
33. Anna Mogren. Implementering av lärande för hållbar utveckling – En studie av rektors förståelse av kvalitet i skolans organisation. Licentiate thesis, 17 November 2017.

34. Stina Gustafsson. Habitat compensation in nature-like fishways: effects on benthos and fish. Doctoral thesis, 15 December 2017.
35. Karin Thörne. Linguistic challenges in science education: a classroom study of teachers' and students' use of central concepts in genetics. Doctoral thesis, 8 June 2018.
36. Daniel Olsson. Student sustainability consciousness: Investigating effects of education for sustainable development in Sweden and beyond. Doctoral thesis, 14 December 2018.
37. Anna Hagelin. Conservation of landlocked Atlantic salmon in a regulated river: behaviour of migratory spawners and juveniles. Doctoral thesis, 12 April 2019.
38. Anna Mogren. Guiding principles of transformative education for sustainable development in local school organizations: Investigating whole school approaches through a school improvement lens. Doctoral thesis, 20 December 2019.
39. Karl Filipsson. From behaviour to genes: anti-predator responses of brown trout (*Salmo trutta*) under winter conditions. Licentiate thesis, 13 March 2020.
40. Kristine Lund Bjørnås. Modeling Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) responses to river habitat alteration. Licentiate thesis, 26 March 2020.
41. Teresa Berglund. Student views of environmental, social and economic dimensions of sustainable development and their interconnectedness: a search for the holistic perspective in education for sustainable development. Doctoral thesis, 3 April 2020.
42. Karl Filipsson. Early life stages of brown trout: Anti-predator responses under warming winters. Doctoral thesis, 18 March 2022.
43. Harald Raaijmakers. Powerful eyes, imaginative minds - Experiencing contemporary art and science in a third space. Licentiate thesis, 16 September 2022.
44. Jeffery Marker. Forests, Functions, and Food Webs: Riparian processes through an ecological and molecular lens. Doctoral thesis, 8 December 2023.
45. Annika Thyberg. Students' meaning-making of epigenetic visual representations: An exploration within and between levels of biological organization. Licentiate thesis, 8 March 2024.
46. Henry Hansen. A Spatial Scale Approach to Fish Habitat Ecology and Impacted Rivers. Doctoral thesis, 25 April 2024.
47. Jacqueline H.T. Hoppenreijs. Rooting for riparian vegetation: processes underlying community composition in boreal ecosystems. Doctoral thesis, 13 September 2024.

48. Annika Forsler. The Role of Pedagogical Content Knowledge When Teaching Sustainable Development in Science Education. Doctoral thesis, 29 November 2024.
49. Raviv Gal. Ecosystem Engineering by Freshwater Mussels: Effects on macroinvertebrate communities, decomposition processes and fish behaviour. Doctoral thesis, 14 March, 2025.
50. Sebastian L. Rock. Glochidiosis and behaviour. Doctoral thesis, 23 May, 2025.
51. Elin Blomqvist. Paving the way for evidence-based control of Garden lupine (Lupinus polyphyllus). Doctoral thesis, 28 May, 2025.
52. Velizara Stoilova. Helping Fish Pass Dams – Is Behavioural Guidance the Solution? Doctoral thesis, 14 November, 2025.
53. Stina Eriksson. Analogy competence for science teachers – The development and validation of the ACT framework. Licentiate thesis, 21 November, 2025.
54. Anna-Clara Rönner. Teaching and Learning about Infectious Diseases in the Aftermath of COVID-19. Doctoral thesis, 5 December, 2025.
55. Anders Eriksson. Kraftfull kunskap om fotosyntes transformerad till undervisningsinnehåll via ett ramverk för fotosynteslitteracitet. Doctoral thesis, 18 December, 2025.

Kraftfull kunskap om fotosyntes transformerad till undervisningsinnehåll via ett ramverk för fotosynteslitteracitet

Fotosyntes anses vara den mest betydelsefulla biokemiska processen på jorden. Trots dess centrala betydelse upplevs fotosyntesundervisningen som svårtillgänglig. Avhandlingen utgår från att undervisningen om fotosyntes bör kopplas till hållbarhets- och samhällsfrågor för att öka relevansen och angripa vanliga missuppfattningar hos elever. Syftet är att utveckla en undervisning som ger elever fotosynteskunskaper för ett välinformerat medborgarskap.

Genom fyra delstudier undersöktes hur disciplinär vetenskaplig kunskap kan transformeras till relevant fotosynteskunskap för skolelever. Den första delstudien utvecklade en teoretisk modell för fotosynteslitteracitet. I den andra delstudien omvandlades modellen till ett ramverk med 25 ämnesområden med tillhörande lärandemål genom en Delphistudie. Den tredje delstudien omsatte ramverkets mål till en undervisningsdesign, utvecklad i samarbete med biologilärare. I den fjärde delstudien utvärderades designen där elever som deltagit i undervisningen uppnådde signifikant bättre resultat än kontrollgruppen. Fyra framgångsaspekter i undervisningsdesignen identifierades: autentiska upplevelser, fascination och förundran, elevaktivt arbetssätt samt kollaborativt lärande.

Avhandlingen visar att en systematisk transformation av ett ämnesinnehåll från en ämnesdisciplin till ett elevnära undervisningsinnehåll kan förbättra lärandet och göra kraftfull kunskap, i detta fall om fotosyntes, mera tillgängligt för lärande.

ISBN 978-91-7867-637-8 (tryck)

ISBN 978-91-7867-638-5 (pdf)

ISSN 1403-8099

DOKTORSAVHANDLING | Karlstad University Studies | 2025:47